

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра _____ АМтаЕТ _____

До захисту допущено
Завідувач кафедри

(підпис)

_____ д.т.н., професор Канюк Г.І. _____
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

рівень вищої освіти _____ магістр _____

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка

освітньо-професійна програма _____

тема «Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом
 виробничих приміщень»

Виконав (ла)

студент (ка) групи ДЕА-23мг _____
 (шифр групи)

_____ ДЕМ'ЯНЕНКО Олександр Юрійович
 (ім'я, прізвище)

Керівник роботи

_____ к.т.н., Мезеря А.Ю.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Рецензент роботи

_____ к.т.н., Буданов П.Ф.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
 немає цитат та вилучень з
 праць інших авторів без відповідних
 посилань
 студент(ка) _____

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра АМтаЕТ
Спеціальність 174
Освітньо-професійна програма магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І. _____
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« » 20 p.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
рівня вищої освіти

студенту (ці) ДЕМ'ЯНЕНКО Олександр Юрійович
(ім'я, прізвище)

1. Тема _____ Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом виробничих приміщень

затверджена наказом по академії № 4801-5/3704 від «21» 11 2024р.

2. Термін здачі закінченої роботи « 28 » 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ Існуючі схеми автоматичного керування мікрокліматом виробничих приміщень та їх конструкції, методи керування мікрокліматом виробничих приміщень, математичні моделі _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):

— Аналіз сучасного обладнання виробничих приміщень, аналіз недоліків та переваг існуючих систем керування мікрокліматом виробничих приміщень. Дослідження режимів роботи виробничих приміщень, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Актуальність теми, існуюче обладнання мікроклімата виробничих приміщень, недоліки та переваги існуючих систем керування мікрокліматом виробничих приміщень, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання « 14 » 09 2024 р.

Керівник



 (підпис) _____
 (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання



 (підпис) _____
 (ім'я, прізвище)
 ДЕМ'ЯНЕНКО О.Ю.
 (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

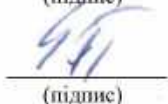
Студент (ка)



 (підпис)

 ДЕМ'ЯНЕНКО О.Ю.
 (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль



 (підпис)

 Ключка Є.П.
 (ім'я, прізвище)

Зміст

Вступ	8
Розділ 1. Опис об'єкта керування.....	9
1.1. Призначення та цілі створення системи.....	9
1.2 Вимоги до автоматики	9
1.3. Вимоги до технічного забезпечення.....	10
1.4 Вимоги до інформаційного забезпечення	10
1.5 Вимоги до програмного забезпечення	11
1.6 Вимоги до метрологічного забезпечення.....	11
Розділ 2. Дослідження існуючих систем керування.....	12
2.1 Сприйняття мікроклімату в приміщеннях та управління попитом у Швеції	12
2.2 Аналіз даних про довкілля для моніторингу внутрішнього середовища офісних будівель у спекотному та вологому кліматі.....	15
Розділ 3. Удосконалення автоматизованої системи керування	19
3.2 Розробка структурної схеми.....	20
3.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	21
3.4 Вибір коштів реалізації АС.....	21
3.4.1 Вибір контролерного обладнання.....	21
3.4.2 Вибір датчиків.....	23
3.4.3 Вибір виконавчих механізмів.....	30
3.5 Схема виробничого приміщення	41
3.6 Розробка схеми зовнішніх проводок	41
3.7 Розробка алгоритмів управління.....	42
3.7.1 Розробка алгоритму запуску.....	43
3.7.2 Розробка алгоритму зупинки.....	43
3.7.3 Розробка алгоритму автоматичного регулювання	44
3.8. Розробка екранних форм.....	68
Розділ 4. Ресурсоефективність та ресурсозбереження.....	69
4.1. Потенційні споживачі результатів дослідження	69
4.2. Аналіз конкурентних технічних рішень.....	70
4.3. SWOT-аналіз	71

4.4. Планування науково-дослідних робіт	73
4.4.1. Структура робіт у рамках наукового дослідження	73
4.4.2. Розробка графіка проведення науково-технічного дослідження	74
4.5. Бюджет науково-технічного дослідження (НТІ).....	77
4.5.1. Розрахунок матеріальних витрат НТІ.....	77
4.5.2. Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	78
4.5.3. Розрахунок заробітної плати та відрахувань до позабюджетних фондів.....	78
4.5.4. Розрахунок загальної собівартості.....	81
4.6. Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої), фінансової, бюджетної, соціальної та економічної ефективності дослідження.....	82
Висновки по розділу «Ресурсоефективність та ресурсосбереження»	84
Висновки	86

Реферат

Ключові слова: мікроклімат, автоматизована система управління, програмований логічний контролер, ПІД-регулятор.

Об'єктом дослідження є виробниче приміщення.

Мета роботи – підвищити економічність системи та точність значень параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні.

У процесі дослідження проводилося моделювання системи підтримки параметрів мікроклімату, налаштування регуляторів по п'яти каналах управління, аналіз якості роботи системи при зовнішньому впливі.

В результаті дослідження була розроблена система автоматизованого керування параметрами мікроклімату у виробничому приміщенні, що базується на контролері ОВЕН ПЛК 160.

Основні конструктивні, технологічні та техніко-експлуатаційні характеристики: система розроблена для приміщення довжиною 25 м, шириною 12 м і висотою 4 м, в якому є джерело змінного струму 220 В і 50 Гц.

Ступінь застосування: система управління параметрами мікроклімату може бути впроваджена в промислові приміщення.

Область застосування: система управління параметрами мікроклімату може застосовуватись у промислових підприємствах з виробництва товарів, складських приміщеннях, офісних приміщеннях, об'єктах житлово-комунальної сфери.

Економічна ефективність/значимість роботи полягає у зниженні витрат на енергетичні ресурси системи, а також перехід до автоматизованого регулювання параметрів мікроклімату.

У майбутньому планується підвищити точність вимірювань параметрів мікроклімату за рахунок покращення методів обробки даних.

Позначення та скорочення

АРМ– автоматизоване робоче місце;

АС- Автоматизована система;

АСУ- Автоматизована система управління;

АСУ ТП- Автоматизована система управління технологічним процесом;

ПЛК- логічний контролер, що програмується;

ФСА – функціональна схема автоматизації.

Вступ

Стан здоров'я людини, його працездатність значною мірою залежить від мікроклімату у приміщенні. Не маючи можливості ефективно впливати на кліматоутворюючі процеси, що протікають в атмосфері, люди мають якісні системи управління факторами повітряного середовища всередині виробничих приміщень.

Мікроклімат приміщень - це клімат внутрішнього середовища даних приміщень, що визначається спільно діючими на організм людини температурою, відносною вологістю та швидкістю руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь.

Фактори, що впливають на мікроклімат, можна розділити на дві групи: нерегульовані (комплекс кліматоутворюючих факторів даної місцевості) та регульовані (особливості та якість будівництва будівель та споруд, інтенсивність теплового випромінювання від нагрівальних приладів, кратність повітрообміну, кількість людей у приміщенні та ін.).

При тривалому та систематичному перебування людини в оптимальних мікрокліматичних умовах зберігається нормальний функціональний та тепловий стан організму без напруження механізмів терморегуляції. При цьому відчувається тепловий комфорт (стан задоволення докільям), забезпечується високий рівень працездатності. Такі умови є кращими на робочих місцях [5].

Об'єктом дослідження є виробниче приміщення.

Розділ 1. Опис об'єкта керування

Об'єктом управління є виробниче приміщення довжиною 25 м-коду, шириною 12 м-коду, висотою 4 м-коду. Огороджувальна конструкція є цегляною стіною.

1.1. Призначення та цілі створення системи

Автоматизована система підтримки параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні призначена для:

- контролю стану основного та допоміжного технологічного обладнання;
- Управління виконавчими механізмами, як в автоматичному, так і в автоматизованому режимі;
- визначення аварійних ситуацій у роботі датчиків та обладнання;
- підтримання параметрів мікроклімату на заданому рівні, шляхом обігріву або охолодження, зволоження або осушення, а також вентиляції повітря у приміщенні;
- візуального подання інформації про стан технологічного процесу.

Цілі створення автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП):

- Підвищення якості роботи системи;
- Забезпечення економічної витрати ресурсів;
- Забезпечення контролю технологічних параметрів процесу;
- Скорочення числа аварій технологічного обладнання.

1.2 Вимоги до автоматики

АСУ ТП підтримки параметрів мікроклімату у приміщенні має забезпечити наступне:

1. Вимірювання:

- температури повітря у виробничому приміщенні;
- вологості повітря у виробничому приміщенні;
- рівня запиленості повітря у виробничому приміщенні;
- температури теплоносія у трубопроводі;
- температури пристрою обігріву;

- витрати теплоносія;
- рівня води у резервуарі пристрою осушення.

2. Управління:

- клапаном запірно-регулюючого системи обігріву;
- клапаном запірно-регулюючого системи охолодження;
- пристроєм зволоження;
- пристроєм осушення;
- влаштуванням вентиляції.

3. Індикацію:

- вимірюваних параметрів на дисплеї автоматизованого робочого місця (АРМ);

- аварійних ситуацій на дисплеї АРМ.

4. Сигналізацію:

- Підвищення рівня води в резервуарі системи осушення вище критичного рівня;
- Порушення роботи датчиків.

1.3. Вимоги до технічного забезпечення

Обладнання на об'єкті має бути стійким до впливу температур (0-50)°С та вологості не менше 80 % при 35°С.

Електричні ланцюги мають бути екрановані.

Контролери повинні мати необхідні інтерфейси передачі на верхній рівень АСУ ТП.

1.4 Вимоги до інформаційного забезпечення

Інформаційне забезпечення повинно включати:

- структуру процесу збору, обробки, передачі інформації в автоматичній системі (АС);
- склад, структуру та способи організації даних в АС;
- порядок інформаційного обміну між компонентами та складовими частинами АС;
- інформацію щодо візуального подання даних та результатів моніторингу.

1.5 Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення має:

- забезпечувати управління виконавчими механізмами;
- мати можливість створювати та вести базу даних за параметрами системи;
- забезпечити реалізацію необхідних алгоритмів контролю, регулювання, відображення інформації.

1.6 Вимоги до метрологічного забезпечення

Метрологічне забезпечення має охоплювати всі стадії створення системи та її експлуатацію.

До вимірювальних каналів системи входять: датчики, перетворювачі, контролери, які пройшли державну перевірку на відповідність їх нормативно-технічної документації.

У процесі експлуатації повинна проводитися періодична перевірка вимірювальних каналів системи та метрологічних характеристик.

Розділ 2. Дослідження існуючих систем керування

Вивчимо способи та результати досліджень впливу клімату на оточуючих людей, сировину, проведену у світі, а також точність вимірювань датчиків температури та вологості.

2.1 Сприйняття мікроклімату в приміщеннях та управління попитом у Швеції

Викиди, пов'язані з будинками, зросли до 28% від глобальних викидів вуглекислого газу, пов'язаних з енергетикою, з урахуванням непрямих викидів від первинного виробництва електроенергії.

Перехід від енергетичних систем, заснованих в основному на викопному паливі, до 100% відновлюваних джерел енергії, є проблемою інтеграції більш нестабільного енергопостачання. Це мотивує впровадження стратегій управління з боку попиту для створення більшої енергетичної гнучкості в будинках за рахунок перемикавання навантаження, скорочення піків та заповнення западин. Один із підходів – використовувати теплову інерцію будівель для зберігання енергії.

Опалення приміщень складає основну частку загального споживання енергії житлової площі та пов'язаного з ним викидів вуглекислого газу. Підхід, який часто пропонують покращити як екологічні, так і економічні показники енергетичної системи – це управління попитом. У цій статті оцінюється теплове сприйняття мешканцями 33 багатоквартирних будинків, підключених до централізованого теплопостачання у Швеції. Учасники записували свої теплові відчуття та теплове задоволення у щоденниках.

Загальна мета дослідження, поданого у цьому документі, полягала в тому, щоб краще зрозуміти сприйняття температурних умов усередині будинку та управління попитом на опалення житлових приміщень з погляду мешканців.

В таблиці 1 представлена схема управління зсувами навантаження під час випробування. Негативне число вказує на зниження потужності, а позитивне число свідчить про збільшення потужності. Схема управління, що застосовувалася під час випробування, є випробуванням з метою оцінки функціональних можливостей управління потужністю будівель та аналізу впливу вихідної потужності.

Таблиця 1 – Схема керування зміною навантаження під час випробування

Дата	Контроль потужності	Час
2023–11–18	Мінус 50%	09:00–10:00
2023–11–20	Мінус 50%	10:00–11:00
2023–11–22	Мінус 50%	01:00–04:00
2023–11–27	Мінус 100%	13:00–13:30
2023–12–01	Мінус 25%	03:00–06:00
2023–12–01	25%	06:00–07:00

Ставлення учасників опитування до опалення та використання енергії у будинку наведено малюнку 1.

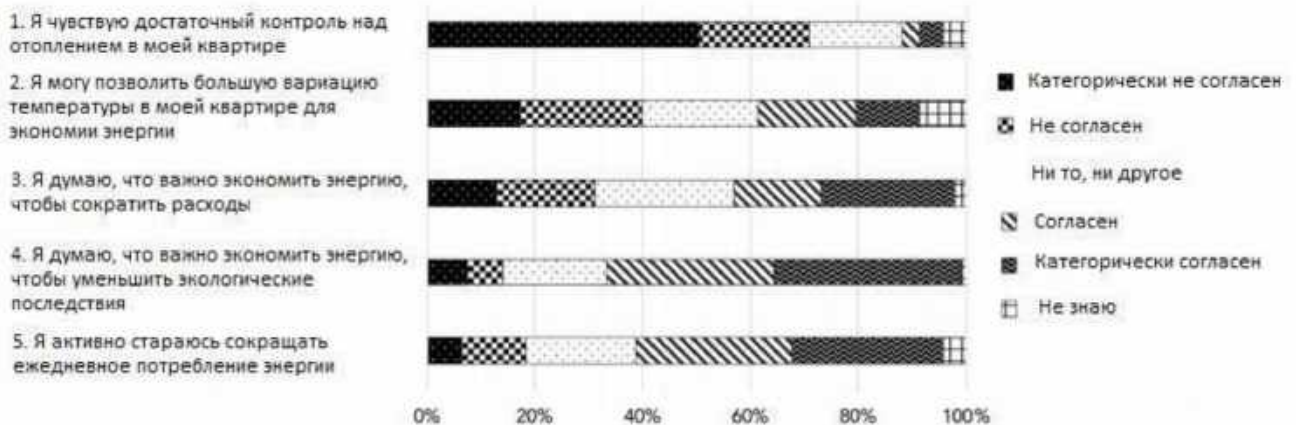


Рисунок 1 – Розподіл відповідей на заяву щодо ставлення до використання теплової енергії в домашніх умовах

Результати показують, що більшість учасників вважали, що вони недостатньо контролю над опаленням будинку, при цьому 71% або не згодні, або категорично не згодні з цим твердженням. Деякі учасники попросили ретельніше контролювати температуру у своїх квартирах. Хоча радіатори зазвичай допускають деяке регулювання, вони, можливо, вже були налаштовані на максимальне нагрівання, і учасники не отримували достатньо тепла. Інші учасники хотіли б мати можливість самостійно регулювати температуру в радіаторах. Твердження, яке отримало найбільшу кількість балів, це твердження, що важливо заощаджувати енергію.

Розподіл відповідей щодо того, наскільки учасники були задоволені температурою будинку до випробувань: 44% відповіли, що вони або незадоволені, або дуже незадоволені, тоді як 29% відповіли, що вони задоволені або дуже

задоволені. При порівнянні відповідей чоловіків та жінок не було виявлено статистично значущої різниці.

Учасників також запитали, що вони робили, якщо їм було занадто

Розподіл відповідей показано на рисунках 2 і 3.

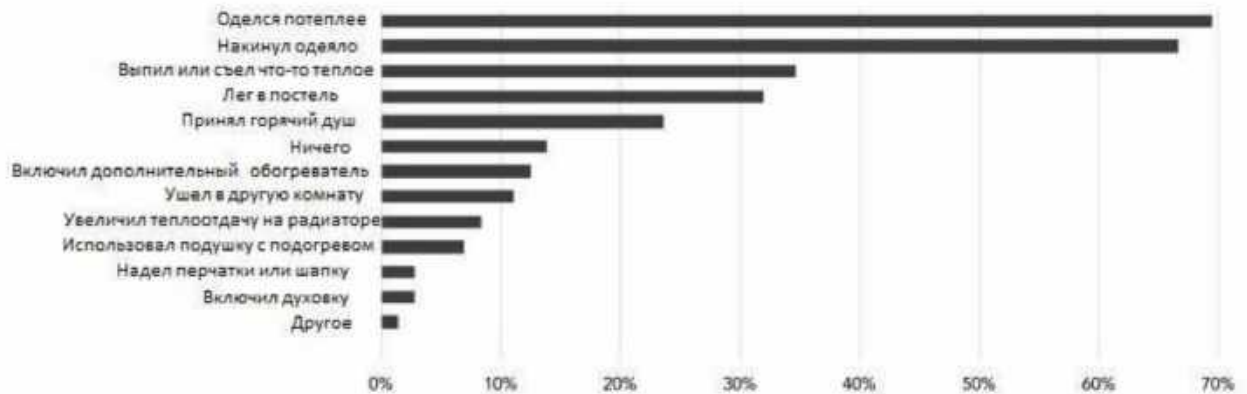


Рисунок 2 – Розподіл відповідей щодо дій при відчутті холоду

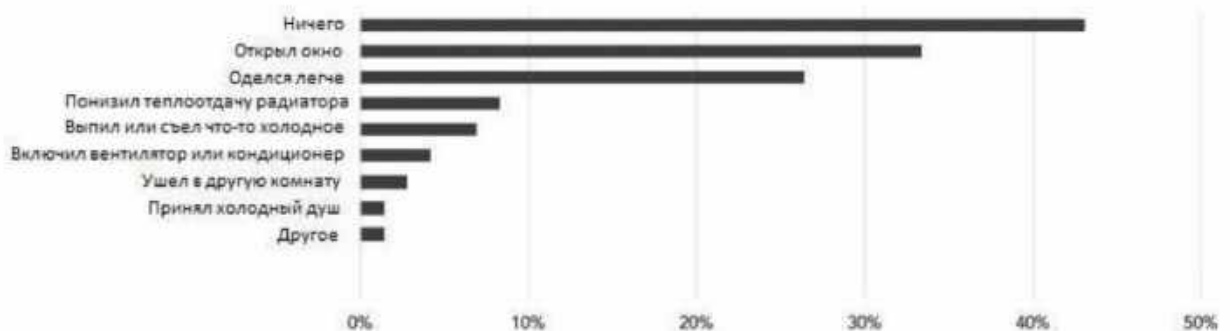


Рисунок 3 – Розподіл відповідей щодо дій, коли занадто тепло

Загалом, були більш поширені дії через холод, ніж через тепло. Тим не менш, 33% відповіли, що вони відчиняли вікно, коли відчували себе надто спекотно під час випробування. Звичайними діями при відчутті холоду, яке вимагало енергії, були випити чи з'їсти щось тепле (35%) та прийняти гарячий душ або ванну (24%). 13% відповіли, що увімкнули додатковий тепловентилятор. Досить мала кількість учасників регулювала температуру на радіаторах або підігріві підлоги, можна частково пояснити відсутністю можливості зробити це, тому що інколи радіатори були попередньо налаштовані на максимальний або мінімальний рівень.

Аналіз теплового сприйняття будинку під час та після випробування показав, що учасники цього дослідження зазвичай відчували, що температура була ближчою холодною. Тим не менш, середня температура в приміщенні була в межах

діапазону, рекомендованого Агентством соціальної охорони здоров'я Швеції, хоч і з великими відмінностями між окремими квартирами [6].

2.2 Аналіз даних про довкілля для моніторингу внутрішнього середовища офісних будівель у спекотному та вологому кліматі

Швидка розробка плат з відкритим вихідним кодом, що включають мікроконтролери на друкованих платах, запропонувала безліч альтернатив у створенні реальних та недорогих платформ для моніторингу та управління довкіллям у приміщенні. Дані збираються та зберігаються у заздалегідь визначених місцях протягом серії комунікаційних дій між мережею активних датчиків та їх блоками обробки. Однак питання точності та достовірності даних викликає серйозну проблему при отриманні базової інформації. Тому, маючи це на увазі, мета цієї статті полягає в тому, щоб підкреслити проникливу тенденцію отримання даних про внутрішнє середовище (температуру та відносну вологість) для офісної будівлі в умовах жаркого та вологого клімату. Параметри в приміщенні контролювалися за допомогою комбінації одноплатного мікроконтролера з активним датчиком з добре відкаліброваних приладів теплового мікроклімату. Відповідно було виявлено, що можна проводити випереджувальне коригування, щоб мінімізувати втрати.

Параметри, отримані в результаті моніторингу навколишнього середовища у приміщенні, включають температуру та відносну вологість. Вихідні дані були поділені на дві частини: одну, отриману з платформи на базі Arduino і одну з теплового мікроклімату. Дані зразка, що представляють 20 хвилин, були зібрані протягом двох послідовних днів і були поділені на дві серії: перша серія (S1) з 10:07 до 10:27 і друга серія (S2) з 11:07 до 11:27. Після цього обидва набори даних зазнали кількісного аналізу, щоб отримати уявлення про надійність даних з використанням даних, отриманих з теплового мікроклімату, як вихідні.

На рис 4 показано структуру платформи моніторингу внутрішнього середовища на базі Arduino.

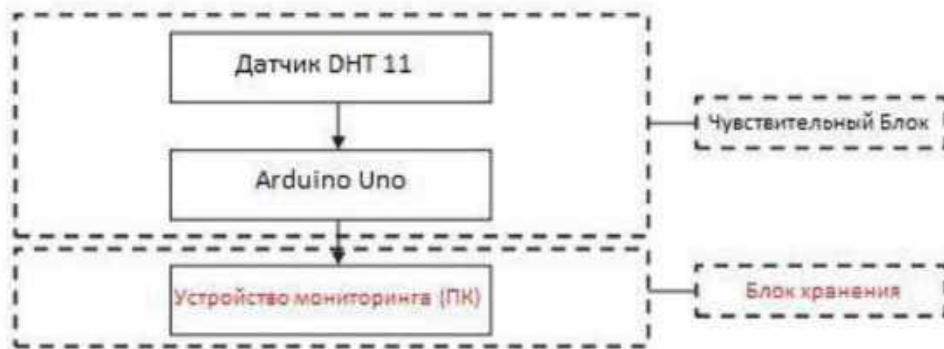


Рисунок 4 – Структура платформы моніторингу на базі Arduino

В даному прикладі сенсорний блок складається з датчика DHT 11 і плати Arduino Uno (ATmega328P). діапазоні від 20% до 90%, а показання температури в діапазоні від нуля до 50 ° С. Однак точність складає $\pm 5\%$ і $\pm 2^\circ \text{C}$ як для вологості, так і для температури відповідно.

На рисунках 5 – 6 представлені дані, отримані з платформи моніторингу на базі Arduino для кожної з відповідних серій.

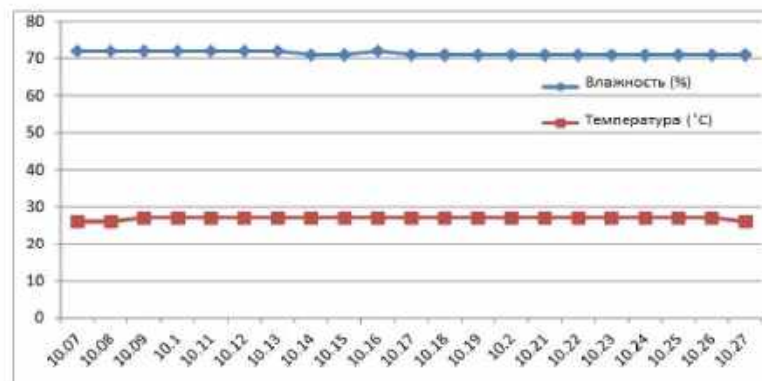


Рисунок 5 – Графік температури та вологості, отриманий за допомогою модуля датчика DHT 11 для S1

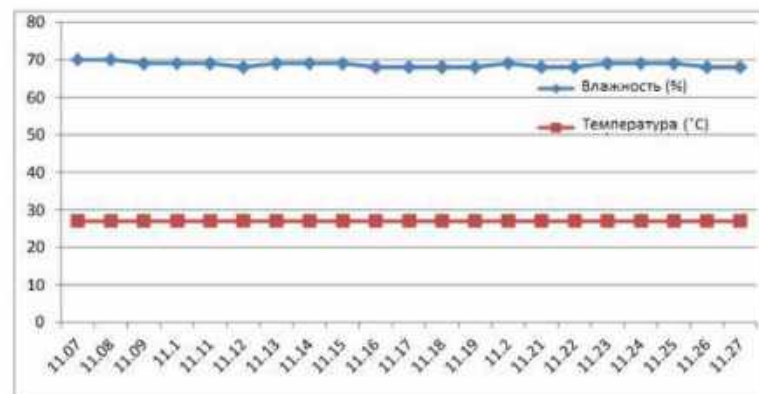


Рисунок 6 – Графік температури та вологості, отриманий за допомогою модуля датчика DHT 11 для S2

Температурний мікроклімат HD32.1 - це вимірювальний прилад, призначений для аналізу мікроклімату в помірних, холодних та жарких середовищах. На рисунках 7 – 8 представлені дані, отримані з платформи моніторингу на базі HD32.1 кожної з відповідних серій.

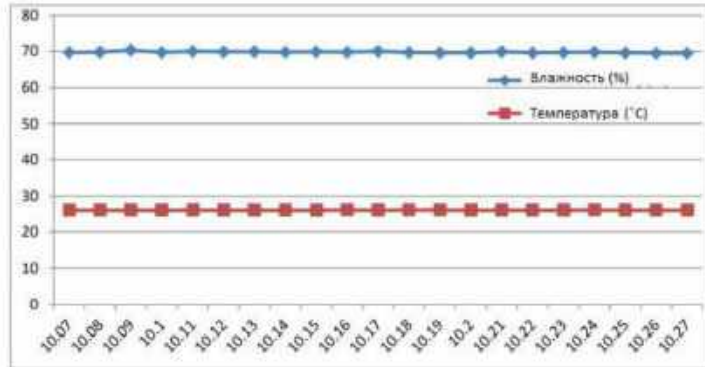


Рисунок 7 – Графік температури та вологості, отриманий з використанням теплового мікроклімату для S1

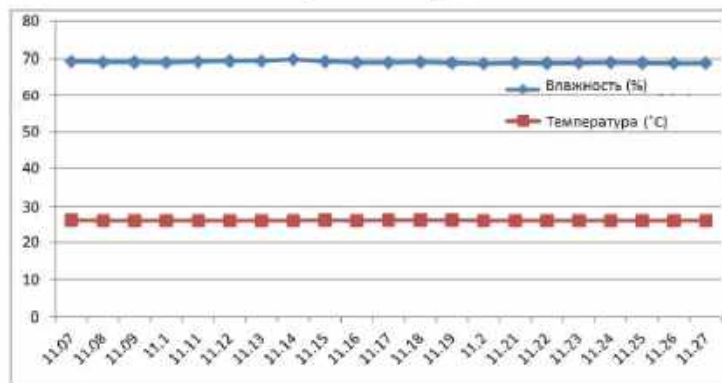


Рисунок 8 – Графік температури та вологості, отриманий з використанням теплового мікроклімату для S2

Було проведено описовий аналіз, в ході якого була визначена така інформація, як середнє значення, стандартне відхилення та асиметрія від середнього значення. , Склад 1,6 °C. Що стосується стандартного відхилення, то найнижче значення відхилення температури. було 0, у той час як максимальне значення було 0,51 від показання.

Кінцева мета отримання даних полягала в тому, щоб перевірити стабільність даних між модулем датчика DHT11 і пристроями теплового мікроклімату. Платформа на базі Arduino і добре відкалібрований вимірювальний пристрій порівнювалися помірним статистичним способом. Загальновідомо, що точність всіх вимірювальних пристроїв з часом погіршується через нормальне зношування,

незважаючи на інші фактори, обидва типи вимірювальних приладів схильні до експериментальних помилок і невизначеностей [7].

Розділ 3. Удосконалення автоматизованої системи керування

Автоматизована система є системою підтримки заданих параметрів мікроклімату виробничого приміщення (температуру, вологість, вмісту твердих частинок повітря).

3.1 Опис технологічного процесу

Функціональна схема технологічного процесу показано малюнку 9.

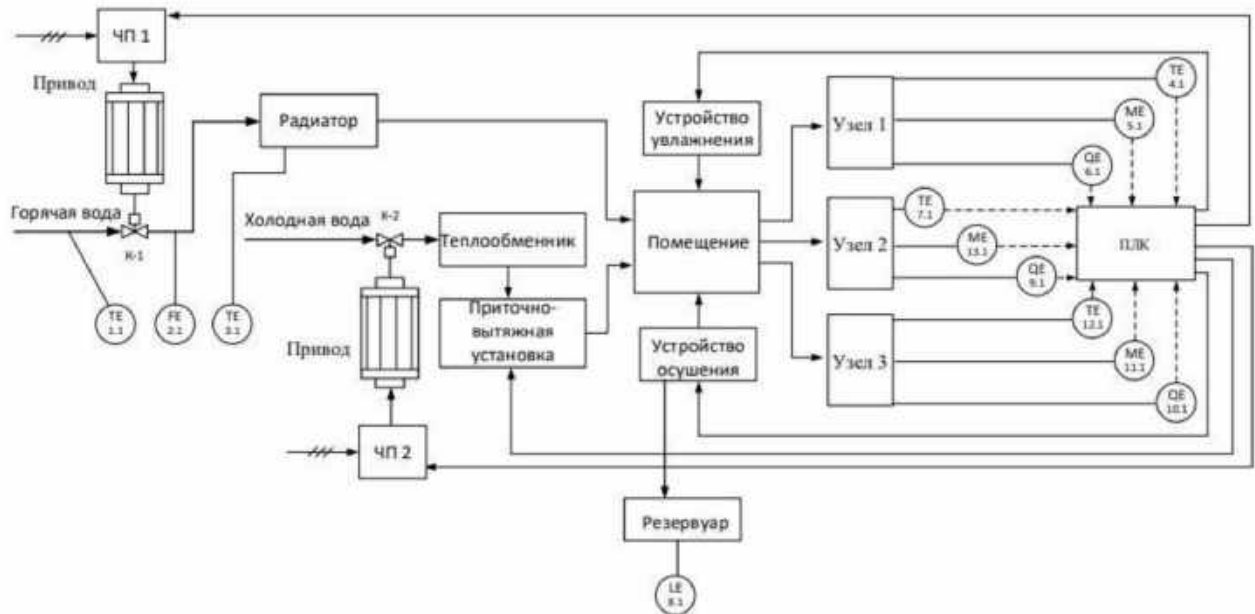


Рисунок 9 – Функціональна схема технологічного процесу

У приміщення розміщуються три вузли вимірювання параметрів мікроклімату. Дані датчиків надходять на мікроконтролер для обробки. З трьох значень параметра розраховується середнє значення, формування керуючого сигналу. Сигнали управління спрямовані на частотні перетворювачі для формування частот обертання запірно-регулюючих клапанів для регулювання витрати гарячої та холодної води, за допомогою яких підтримується необхідна температура у приміщенні. Також сигнали керування запускають вентиляцію, пристрій зволоження або осушення. Надлишки води з повітря після осушення надходять у резервуар. У разі підвищення допустимого рівня води система сигналізує про необхідність звільнення ємності.

3.2 Розробка структурної схеми

Управління технологічним процесом зводиться до підтримки необхідних параметрів мікроклімату у приміщенні. Структурна схема управління представлена трьома рівнями передачі (рисунок 10).

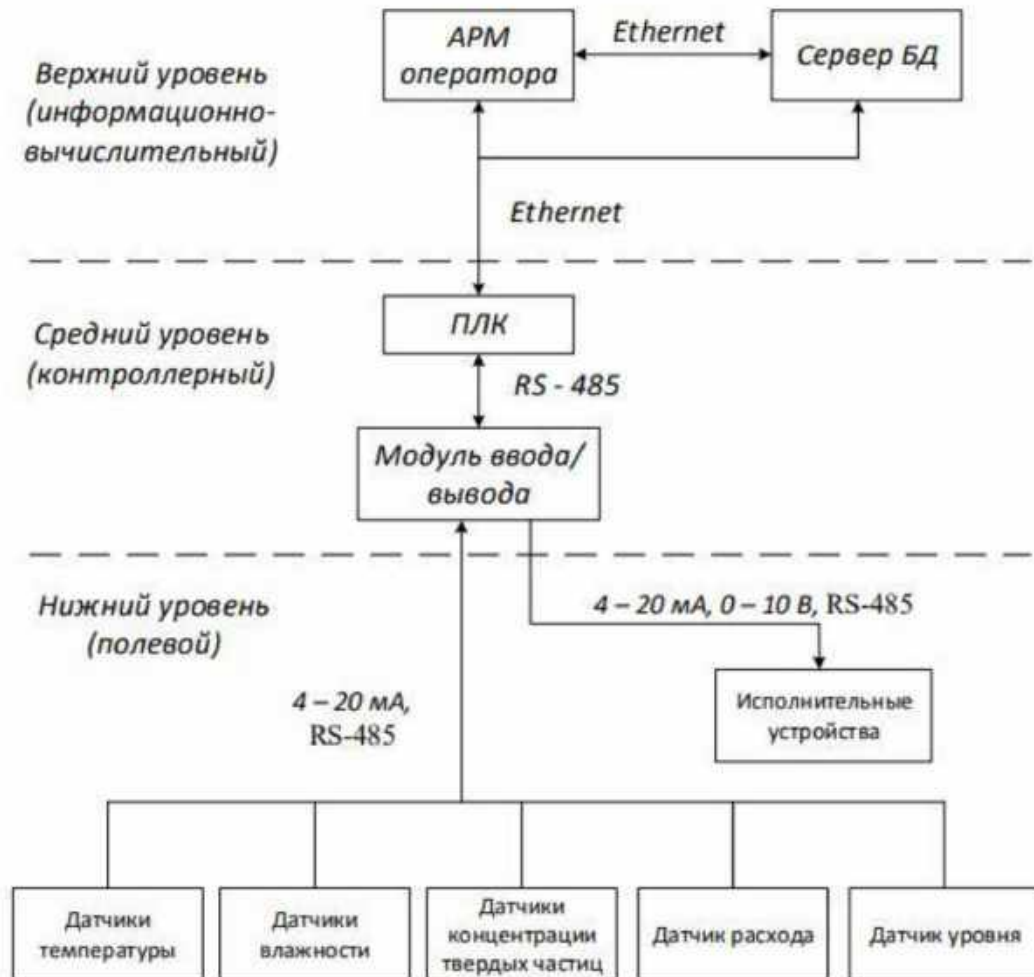


Рисунок 10 – Структурна схема процесу

Нижній рівень (польовий) складається з первинних датчиків, що здійснює збирання інформації про параметри технологічного процесу, і виконавчих пристроїв, які реалізує регулюючу дію.

Середній рівень (контролерний) складається з програмованого логічного контролера (ПЛК), який здійснює:

- Виконання команд верхнього рівня;
- Обмін інформацією з верхнім рівнем;
- Збір та первинну обробку інформації про параметри технологічного процесу;

- Автоматичне регулювання.

Верхній рівень (інформаційно-обчислювальний) складається з комп'ютера, який з'єднаний з ПЛК мережею Ethernet, як середовище, що передає, використовується мідна кручена пара.

3.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації (ФСА) показує основні технічні рішення, які приймаються під час проектування систем автоматизації технологічного процесу.

ФСА є технічним документом, що визначає функціонально-блочну структуру окремих вузлів автоматичного контролю, управління та регулювання технологічного процесу та оснащення об'єкта управління приладами та засобами автоматизації.

Усі елементи систем керування показуються як умовних зображень і об'єднуються у єдину систему лініями функціонального зв'язку.

Розроблено функціональні схеми автоматизації згідно з ГОСТ 21.208-2013, представлену у додатку А, та згідно зі стандартом американського товариства приладобудівників ANSI/ISA-5.1-2009, представлену у додатку Б.

3.4 Вибір коштів реалізації АС

Як засоби реалізації системи необхідно вибрати контролерне обладнання, датчики та виконавчі пристрої для підтримки параметрів мікроклімату.

3.4.1 Вибір контролерного обладнання

Зробимо вибір контролера з таких видів: ОВЕН ПЛК 160, SIEMENS S7-300 CPU 314, DVP-SX2 (таблиця 2).

Таблиця 2 – Порівняння контролерів

Критерії вибору	ОВЕН ПЛК 160	SIEMENS S7- 300 CPU 314	DVP-SX2
Напруга живлення	220 В, 24 В	24 В	24 В
Дискретні входи	16 штук	16 штук	8 штук
Дискретні виходи	12 штук	16 штук	6 штук
Аналогові входи	8 штук	-	4 штук
Аналогові виходи	4 штук	-	2 штук
Інтерфейси	RS-232, RS-485, Ethernet, струмова петля	RS-485	RS-232, RS-485
Розрядність АЦП	14 біт	-	12 біт
Розрядність ЦАП	12 біт	-	12 біт
Діапазон температур	(мінус 40 – 55) С	(0 – 60) С	(0 – 55) С
Ціна	33480 грн.	147532 грн.	20017 грн.

Контролер DVP-SX2 має недостатню кількість входів, тому необхідно використовувати модулі розширення входів. Також контролер може працювати тільки за позитивної температури, як і SIEMENS S7-300 CPU 314, до того ж контролер фірми SIEMENS має високу вартість і не містить аналогових входів і виходів. Таким чином, використовуватимемо контролер ОВЕН ПЛК 160 (рисунок 11).



Рисунок 11 – Контролер ОВЕН ПЛК 160

Програмування контролера здійснюється серед CODESYS з підтримкою п'яти мов програмування. Фірма ОВЕН займається розробкою контролерів для малих та середніх систем автоматизації, контрольно-вимірювальних приладів, програмних засобів. Продукція компанії використовується у різних галузях промисловості.

Схема підключення зовнішніх ланцюгів контролера наведена малюнку 12 [8 – 10].

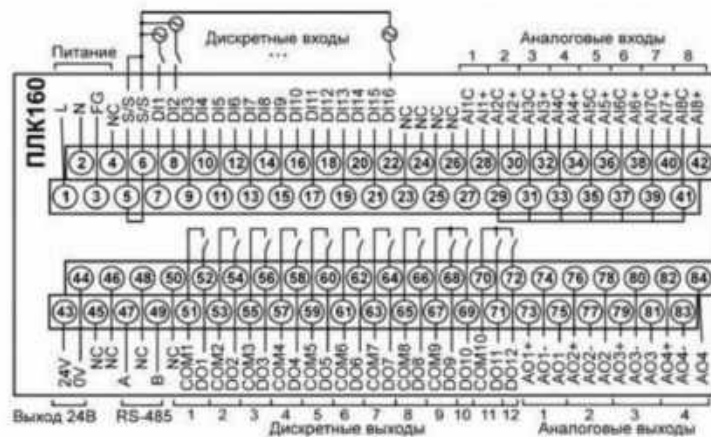


Рисунок 12 – Розташування контактів для підключення зовнішніх ланцюгів

3.4.2 Вибір датчиків

Для системи керування параметрами мікроклімату необхідні датчики температури, вологості повітря та концентрації пилу у повітрі. Також, для моніторингу роботи системи додамо датчики температури води у гарячому трубопроводі та радіаторі та датчик рівня води у пристрої осушення для сигналізації наповнення бака.

3.4.2.1 Вибір датчика температури та вологості

Проведемо порівняльний аналіз наступних термогігрометрів: ІВТМ-7/1-Щ, ІВТМ-7 Р-01-Т та СЕМ DT-625. Результати порівняння зведені у таблиці 3.

Для вимірювання температури та вологості повітря виберемо термогігрометр ІВТМ-7/1-Щ (рисунок 13). Цей прилад має широкий діапазон вимірювань температури і вологості та напруги живлення. До того ж, він має необхідні інтерфейси зв'язку з комп'ютером і дисплей з елементами управління та індикації.

Прилад виконує обробку та реєстрацію даних, а також може керувати виконавчими пристроями.

Таблиця 3 – Огляд термогігрометрів

Критерії вибору	IBTM-7/1-Щ	IBTM-7 P-01-T	CEM DT-625
Діапазон меж вимірювань вологості	(0 - 99) %	(2 – 95) %	(0 – 100) %
Діапазон меж вимірювань температури	(мінус 40–50) °C	(мінус 20–50) °C	(мінус 30–100) °C
Межа допустима похибки виміру вологості	$\pm 2\%$	-	$\pm 2\%$
Межа допустима похибки виміру температури	$\pm 0,2\%$	$\pm 0,2\%$	$\pm 0,5\%$
Напруга живлення	220 В, (6 – 24) В	5 В (USB), 3 В	9 В
Потужність	6 Вт	0,1 Вт	-
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-232, RS-485	USB	Відсутня
Наявність дисплея	Є	Ні	Є
Середній термін служби	5 років	5 років	2 роки
Вартість	7560 грн.	7440 грн.	7150 грн.



Рисунок 13 – Термогігрометр IBTM-7/1-Щ

До складу термогігрометрів входять термозонди, резистивний або ємнісний датчик вологості та вимірювальні перетворювачі. Термозонди містять чутливий елемент (мідний, платиновий). Вплив температури змінює опір терморезистора у термозонді. Зміна вологості змінює опір чи ємність у гігросчутливому елементі. Вимірювальний перетворювач перетворює напругу з чутливих елементів струмовий вихідний сигнал [11 - 13].

3.4.2.2 Вибір датчика концентрації твердих речовин

Проведемо порівняльний аналіз наступних датчиків концентрації твердих речовин у повітрі: PlantowerG3 PMS3003 Лазер, RK300-02RS485 та Plantower PMS9003M. Результати порівняння зведені в таблиці 4.

Критерії вибору	PlantowerG3 PMS3003 Лазер	RK300- 02RS485	Plantower PMS9003M
Діапазон вимірів	(0.3 – 10) мікрон	Від 1 мікрон	(0.3 – 10) мікрон
Діапазон робочої температури	(мінус 10 – 50) °C	(мінус 20 – 50) °C	(мінус 10 – 60)°C
Діапазон робочої вологості	(0 - 99) %	(15 - 80)%	(0 - 95) %
Межа допустима похибки виміру	-	± 3%	± 10%
Напруга живлення	5 В	(12 – 24)	5 В
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	UART	4-20 мА, 0-5, 0-10, RS-485	UART
Наявність дисплея	Ні	Є	Ні
Вартість	2317 грн.	5535 грн.	850 грн.

Для вимірювання вмісту пилу у повітрі виберемо датчик RK300-02RS485 (рисунок 14). Даний датчик має ширший діапазон напруги живлення, меншу похибку вимірювань і містить дисплей виведення показань. До того ж, може передавати сигнал на контролер струмової петлі або рівню напруги, а також за

інтерфейсом RS-485. Такі переваги обраного датчика в порівнянні з іншими представленими позначається на ціні.



Рисунок 14 – Датчик концентрації твердих речовин у повітрі RK300-02RS485

Принцип дії датчика заснований на послабленні інтенсивності світлового випромінювання при його проходженні через запилене середовище. Концентрація частинок пилу пропорційна оптичній щільності світла [14 – 16].

3.4.2.3 Вибір датчика витрати

Для вимірювання витрати води проведемо порівняльний аналіз наступних витратомірів: ЕМІС-ВИХР 200, ЕМІС-ДІО 230, ЕМІС-МАГ 270. Результати порівняння зведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Огляд витратомірів

Критерії вибору	ЕМІС-Вихор 200	ЕМІС-ДІО 230	ЕМІС-МАГ 270
Тип датчика	Вихровий	Роторний	Електромагнітний
Вимірюване середовище	Рідини з механічними домішками	Рідини, в'язкі рідини	Електропровідні рідини, агресивні середовища
Температура вимірюваного середовища	(мінус 60 – 450) °C	(мінус 20 – 250) °C	(мінус 40 – 130) °C

Діапазон меж вимірювань	(8 – 250)	(8 – 280)	(3 – 283)
Межа допустима похибки	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,5\%$
Вихідний сигнал	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU
Тиск середовища	(0 – 25) МПа	(0 – 6,3) МПа	(0 – 32) МПа

Для вимірювання витрати води вибираємо витратомір ЕМІС-МАГ 270 (рисунок 15). Витратомір має відповідний діапазон температур та межі вимірювання. На відміну від інших витратомірів, електромагнітний безконтактний, що полегшує його установку і збільшує термін служби.



Рисунок 15 – Витратомір ЕМІС-МАГ 270

Прилад працює згідно із законом електромагнітної індукції. При перетині магнітного поля рідини індукується електрорушійна сила, пропорційна швидкості руху рідини [17 – 19].

3.4.2.4 Вибір датчика температури води

Проведемо порівняльний аналіз наступних накладних датчиків температури: VSN-3, RTD-04-PIPE та Eastec E-35. Результати порівняння зведені у таблиці 6.

Таблиця 6 – Огляд датчиків температури

Критерії вибору	VSN-3	RTD-04-PIPE	Eastec E-35
Діапазон меж вимірювань	(мінус 30 – 110) °C	(мінус 40 - 110) °C	(0 – 99) °C
Похибка	-	± 0,5 °C	-
Діаметр труби	(13 – 92) мм	До 48 мм	-
Вихідний сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Країна виробник	Німеччина	КНР	Південна Корея
Ціна	2336 грн.	473 грн.	2350 грн.

Для вимірювання температури радіатора та трубопроводу гарячої води оберемо датчик RTD-04-PIPE (рисунок 16).

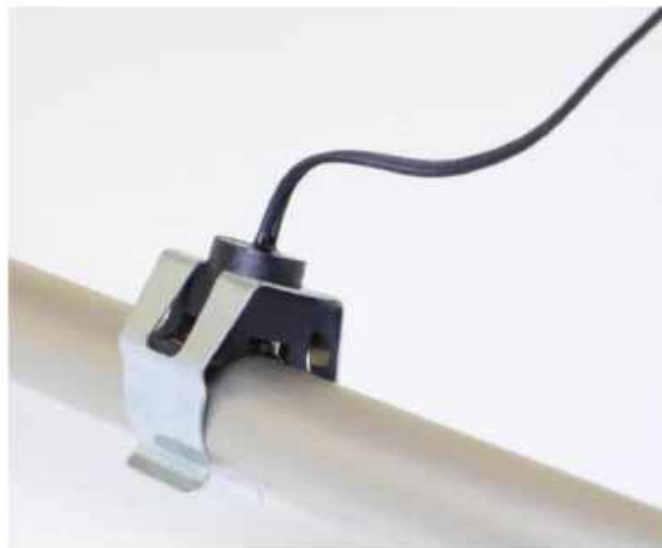


Рисунок 16 – Датчик температури RTD-04-PIPE

Даний термоперетворювач українського виробництва з низькою вартістю призначений для вимірювання температури теплоносія в трубі. Вплив температури змінює опір терморезистора та, відповідно, силу струму від джерела живлення [20 – 22].

3.4.2.5 Вибір датчика рівня води

Як датчик рівня води в осушувачі повітря буде використовуватися датчик рівня Р35 прямий (рисунок 17).



Рисунок 17 – Поплавковий датчик рівня Р35

Характеристики датчика рівня зведені у таблиці 7.

Таблиця 7 - Характеристики поплавкового датчика рівня Р35

Характеристики	Датчик рівня Р35
Вимірювані середовища	Нейтральні середовища
Температура експлуатації	(мінус 30 - 80) ° С
Напруга комутації	До 100 В
Робочий струм	0,5 А
Опір при замиканні	До 100 Ом
Вихідний сигнал	(4 – 20) ма або реле
Ціна	260 грн.

Усередині датчика поплавця розміщений круглий магніт. Шток є порожнистою пластиковою трубкою з розташованими всередині герконами. Поплавець із закріпленням магнітом завжди розташовується на поверхні рідини. Підходячи до геркона, поле магніту спрацьовує його контактів, що є сигналом про заповнення ємності до певного обсягу.

При послідовному з'єднанні контактних пар між собою через резистори можна постійно стежити за рівнем води з опору ланцюга. Стандартний сигнал змінюється від 4 до 20 мА.

Датчик рівня води найчастіше розміщується у верхній частині резервуара [23].

3.4.3 Вибір виконавчих механізмів

Виконавчими пристроями для системи підтримки мікроклімату будуть радіатор та теплообмінник, що регулюють клапани з частотними перетворювачами, пристрої зволоження та осушення з перетворювачами напруги для керування вентиляторами, припливно-витяжна установка.

3.4.3.1 Вибір радіатора

Для обігріву приміщення використовуватимуться радіатори з водою в ролі теплоносія. Радіатори складаються з секцій із внутрішніми каналами, всередині яких циркулює теплоносій.

Порівняємо радіатори різних виробників(таблиця 8).

Таблиця 8–Порівняння радіаторів

Критерій вибору	Rifar Alp 500 x 10	Royal Thermo BiLiner 500 x 10	K3TO PC1-1000-412
Тепловіддача радіатора	1610 Вт	1710 Вт	650 Вт
Отоплювана площа	19,9	19,9	6,5
Об'єм	2л	2,05л	3,8л
Габаритні розміри(В*Ш*Т)	0,57 * 0,81 * 0,075м	0,574 * 0,80 * 0,08м	1,04 * 0,412 * 0,04м
Максимальна робоча температура	135 °C	110 °C	130 °C
Максимальний робочий тиск	20бар	30бар	15бар
Ціна	7100грн.	8800грн.	10 867 грн.

З представлених радіаторів оберемо RifarAlp500x10 (рисунок 18).



Рисунок 18 - Радіатор Rifar Alp 500 x 10

Даний радіатор має високу тепловіддачу при низькій ціні та низьку витрату води. Радіатор містить 10 секцій. Підключення здійснюється діаметром півдюйма [24–26].

3.4.3.2 Вибір вентиляції

Припливно-витяжна установка STAR - це компактний рекуперативний пристрій призначений для подачі, очищення та видалення відпрацьованого повітря у приміщення невеликих обсягів. Нагрів та зволоження повітря здійснюється без додаткових витрат електроенергії. Відбувається це за рахунок пластинчастого рекуператора мембранного типу, який витягуючи тепло і вологу з утилізованого повітря, передає їх повітря з вулиці.

Монтаж установки можна здійснювати безпосередньо в приміщенні, що обслуговується, і підвісною стелею.

Стандартно установки комплектуються припливним та витяжним вентиляторами, припливним та витяжним фільтрами, пластинчастим рекуператором та системою автоматичного керування з пультом дистанційного керування. Інноваційний тип рекуператора дозволяє підігрівати і зволожувати повітря, при цьому спеціальна мембрана рекуператора переносить з витяжного повітря тільки молекули води, залишаючи в ньому всі забруднення.

Технічні характеристики установки вентиляції показано в табл.9

Таблиця 9 – Технічні дані Electrolux EPVS-200

Характеристики		Значення	
Максимальна витрата повітря		205	/година
Потужність		75 Вт	
Напруга живлення		220 В	
ККД рекуператора		85%	
Регулювання вентиляторів		(85 - 220), 50 Гц	
Габаритні розміри (В*Ш*Г)		0,245 * 0,42 * 0,59 м	
Країна виробник		КНР	
Гарантійний термін		24 місяці	
Ціна		38700 грн.	

Зображення припливно-витяжний вентиляції наведено на рис. 19[27].



Рисунок 19 – Установка припливно-витяжна Electrolux EPVS-200

Установка призначена для монтажу безпосередньо до круглих повітроводом.

Регулювання швидкості вентиляторів проводитиметься цифровим фазовим регулятором напруги (рисунок 20).



Рисунок 20 – Фазовий регулятор напруги цифровий
Характеристики регулятора напруги наведено у таблиці 10 [28].

Таблиця 10 – Технічні дані фазового регулятора напруги

Характеристики	Значення
Робоча напруга	220 В
Максимальна потужність	4 кВт
Напруга регулювання	(0 – 220)
Підключення живлення	Виходи 1 та 2
Підключення регульованого пристрою	Виходи 3 та 4
Ціна	680 грн.

3.4.3.3 Вибір теплообмінника

Теплообмінники призначені для нагрівання чи охолодження повітря в каналних системах вентиляції. Нагрівач встановлюється безпосередньо у канал. Як теплоносії можуть використовуватися як вода, так і незамерзаючі суміші. Проведемо вибір теплообмінника серед WHR-W 400*200-3, WHC 400*400-2, WHC 150*150-2. Порівняння подано у таблиці 11.

Таблиця 11 – Порівняння теплообмінників

Критерій вибору	WHR-W 400*200-3	WHC 400*400-2	WHC 150*150-2
Витрата води	0,6 / год	1,19/година	0,14 /година
Максимальна витрата повітря	-	1600 /годин а	250 /година

Мінімальна витрата повітря	-	800	/години	150	/година
Габаритні розміри (В*Ш*Г)	0,29 * 0,635 * 0,316 м	0,44 * 0,62 * 0,15 м		0,19 * 0,37 * 0,15 м	
Гарантія	12 місяців	12 місяців		12 місяців	
Ціна	20950 грн.	10500 грн.		6200 грн.	

Вибираємо теплообмінник WNC 150*150-2 (рисунок 21). Його витрата повітря відповідає витраті повітря припливно-витяжної вентиляції, при цьому у нього менша витрата води і значно нижча ціна.



Рисунок 21 – Теплообмінник WNC 150*150-2

Теплообмінник може бути встановлений як у прямокутний канал, так і в круглий при встановленні додаткових перехідників. Корпус виготовляється із оцинкованого сталевих листа. Поверхня теплообмінника виготовляється із мідних труб, механічно розширених на ребра у вигляді пластин. Пластини мають хвилясту форму, що дозволяє збільшити поверхню теплообміну, а також дозволяє легко стікати конденсату без засмічення теплообмінника. Потужність за максимальної робочої температури 150°C дорівнює 4 кВт, максимальний тиск 16 бар [29 – 31].

3.4.3.4 Вибір зволожувача повітря

Для зволоження повітря у приміщення виберемо промисловий зволожувач із наступних: Par-Tuman ГТ-1,6, Сохра Ф3, Par-Tuman ГТ-5,0 (таблиця 12).

Таблиця 12 – Порівняння зволожувачів повітря

Критерій вибору	Par-Tuman ГТ-1,6	Сохра Ф3	Par-Tuman ГТ-5,0
Продуктивність	1,6 кг/год	0,9 кг/год	5 кг/год
Площа зволоження	(150 - 200)	-	(200 - 300)
Діаметр парового патрубку	110 мм	125 мм	110 мм
Підключення до водопроводу	Є	Ні	Ні
Напруга харчування	220 В	220 В	220 В
Споживана потужність	150 Вт	150 Вт	300 Вт
Габаритні розміри (В*Ш*Г)	0,50 * 0,30 * 0,15 м	0,26 * 0,238 * 0,16 м	0,31 * 0,40 * 0,34 м
Ціна	24 000 грн.	36179грн.	42 000 грн.

З представлених зволожувачів оберемо Par-Tuman ГТ-1,6 (рисунок 22).



Рисунок 22 – Зволожувач повітря Par-Tuman ГТ-1,6

Даний зволожувач ультразвуковий і має низьке енергоспоживання, низьку ціну. Головною перевагою є можливість підключення до водопроводу, що

дозволить здійснювати безперебійну роботу апарату. Бак для води в цій моделі відсутній.

Також зволожувач має у своєму складі блок автоматики, що дозволяє експлуатувати зволожувач в автоматичному режимі з урахуванням вологості.

Підвищення вологості повітря відбувається за рахунок розпилення найдрібніших частинок води за допомогою ультразвукової пластини. Через це виходить особливо дрібний водяний туман, без нагрівання навколишнього повітря.

Керує потоком водяного туману вбудований вентилятор YCCFAN (рис. 23).



Рисунок 23 – Вентилятор у зволожувачі повітря Par-Tuman ГТ-1,6
Живлення вентилятора здійснюється напругою 32 В та струмом 0,12 А [32 - 34].

3.4.3.5 Вибір осушувача повітря

Для осушення повітря в приміщення виберемо промисловий осушувач того самого виробника, що і зволожувача, а саме Par-Tuman PT-60 (рис. 24).



Рисунок 24 –осушувач повітря Par-Tuman PT-60 Характеристики осушувача наведено у таблиці 13.

Таблиця 13 - Характеристики осушувача повітря

Характеристики	Par-Tuman PT-60
Продуктивність	480 /год
Осушення	60 л/добу
Місткість бака	5,5 л
Напруга живлення	220 В
Потужність	780 Вт
Габаритні розміри (В*Ш*Г)	0,94 * 0,55 * 0,52 м
Ціна	65 000 грн.

Промисловий осушувач PT-60 Par-Tuman (Пар-Туман) призначений для зниження рівня вологості та, крім того, для часткового очищення повітря від пилу. Модель мобільної підлоги рекомендується для використання у виробничих приміщеннях, басейнах, складах [35].

Регулювання швидкості вентиляторів зволожувача та охолоджувачів буде виконано за допомогою димера SR-2006-S (рисунок 25).



Рисунок 25 – Діммер SR-2006-S

Характеристики димера наведені у таблиці 14.

Таблиця 14 - Характеристики димера SR-2006-S

Характеристики	Значення
Вхідна напруга	12/24/36 В
Вихідна напруга	12/24/36 В
Потужність	96/192/288 Вт
Сигнал керування	(0 – 10)

Струм навантаження	8 А
Габаритні розміри (Д*Ш*В)	0,082 * 0,033 * 0,020 м
Ціна	1799 грн.

Для живлення вентиляторів необхідний димер з вхідною/вихідною напругою 36 В [36].

3.4.3.6 Вибір регулювального клапана

Клапан запірно-регулюючий КЗР 25ч945п фланцевий (рис 26) у комплекті з електроприводом Regada застосовується на центральних та індивідуальних теплових пунктах, в системах гарячого водопостачання, вентиляції, в галузях народного господарства. Клапан є запірним пристроєм, також призначений для автоматичного регулювання техпроцесів.

Характеристики клапанів:

- робоче середовище: рідкі та газоподібні середовища;
- Температура робочого середовища: від мінус 15 ° С до плюс 150 ° С;
- Робочий хід плунжера: 50 мм.

Принцип дії КЗР. Регулюється потік робочого середовища шляхом переміщення плунжера щодо сідла, змінюючи цим пропускну здатність клапана по сигналу, що надходить на електропривод, який змінює площу відкритого прохідного отвору сідла. Завдяки прокладкам та сальниковому ущільненню здійснюється повна герметичність клапана.



Рисунок 26 - КЗР 25ч945п

Для вихідного трубопроводу системи опалення з діаметром 20 мм вибираємо клапан КЗР 25ч945пДу15Ру16. Габаритні та приєднувальні розміри показані на рис 27.

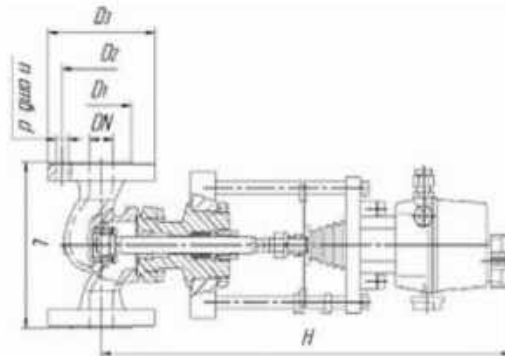


Рисунок 27 – Габаритне креслення КЗР 25ч945п Ду15 Ру16: $D_1 = 46$ мм, $D_2 = 65$ мм, $D_3 = 95$ мм, $L = 130$ мм, $p = 4$ мм, $d = 14$ мм, $H = 350$ мм

Клапани КЗР 25ч945п комплектуються електроприводом – «Regada» різних типів виконання: у загальнопромисловому, вибухозахищеному, помірному кліматичному. Стандартне виконання електроприводу Regada:

- електричне приєднання – на клемну колодку;
- механічне приєднання – фланцеве, приєднувальна муфта різьбова;
- Показчик положення;
- Ручний дублер управління.

Технічні характеристики електроприводів показані у таблиці 15.

Таблиця 15 – Технічні дані електроприводу

Характеристики	Значення
Робочий хід	10 мм
Швидкість управління	30 мм/хв
Час закриття	20 с
Зусилля на штоку	1,1 кН
Напруга живлення	230В, 50Гц
Потужність споживана	2,75 Вт
Маса	1,9 кг

Клапан живиться від мережі змінного струму, у своїй споживає мало потужності [37].

3.4.3.7 Вибір частотного перетворювача

Для регулювання частоти обертання електроприводу клапана виберемо частотний перетворювач із наступних: HYUNDAI N700E 004SF, ESQ-210-2S-0.4K, ESQ-A500-021-0.4K (таблиця 16).

Таблиця 16 - Порівняння частотних перетворювачів

Критерій вибору	HYUNDAI N700E 004SF	ESQ-210-2S-0.4K	ESQ-A500-021-0.4K
Потужність	400 Вт	400 Вт	400 Вт
Напруга харчування	220 В	220 В	220 В
Дискретні входи	6 шт	4 шт	4 шт
Інтерфейс зв'язку	RS-485	RS-485	RS-485
Ціна	12546 грн.	6644 грн.	8815 грн.

З частотних перетворювачів виберемо ESQ-210-2S-0.4K (рисунок 28).



Рисунок 28 – Частотний перетворювач ESQ-210-2S-0.4K

Даний частотний перетворювач має необхідний інтерфейс зв'язку, достатню потужність живлення електроприводу і коштує дешевше, ніж представлені [38].

3.5 Схема виробничого приміщення

Виробниче приміщення довжиною 25 м, шириною 12 м і висотою 4 м містить пристрій осушення, два пристрої зволоження, дві припливно-витяжні вентиляції з теплообмінниками та п'ятнадцять радіаторів опалення. Також до складу системи входять три вузли вимірювання параметрів мікроклімату.

Схема розташування пристроїв наведено на рис. 29.

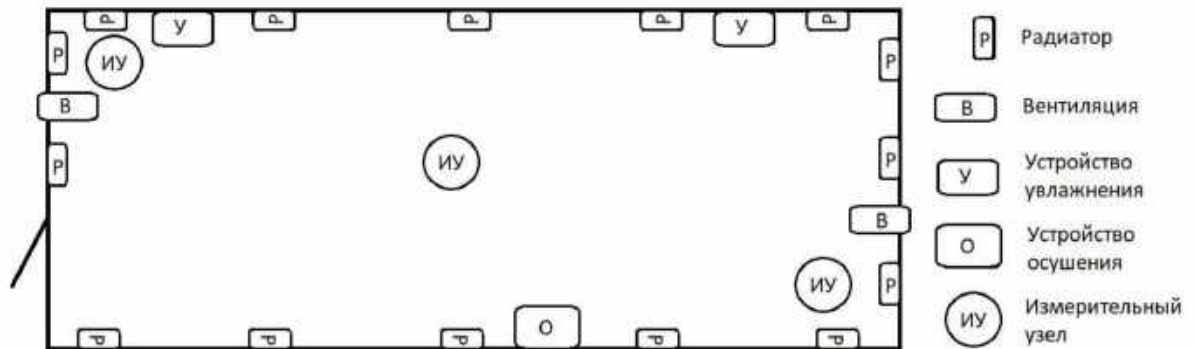


Рисунок 29 – Схема розміщення пристроїв у приміщенні

Вимірювальні вузли розташовані на різних рівнях: на верхньому (3,5 м), на середньому (2 м) та на нижньому рівні (0,5 м) для більш детального уявлення про параметри мікроклімату.

3.6 Розробка схеми зовнішніх проводок

У процесі виконання роботи розробили схему зовнішніх проводок, наведену в додатку В. На схемі показані проводки наступних датчиків: температури, вологості, концентрації твердих речовин у повітрі, витрати води та рівня води в резервуарі. Для передачі сигналів було вибрано кабель КВВГЕнг (рисунок 30). Це захищений екраном кабель у полівінілхлоридній оболонці. Жили кабелю виготовляються із міді чи алюмінію.



Рисунок 30 – Кабель КВВГЕнг Розшифровка аббревіатури кабелю КВВГЕнг:

- К означає, що кабель контрольний;
- В (перша) каже, що провідники виготовлені із ПВХ-пластику;
- В (друга) каже, що скручування жил поміщене у ПВХ-оболонку;
- Г означає, що кабель немає зовнішнього захисного шару;
- Е говорить про наявність захисного екрану.

Кабель КВВГЕнг призначений для прокладання в приміщеннях та на відкритому повітрі за відсутності небезпеки механічних пошкоджень при експлуатації та захисту електричних кіл від впливу зовнішніх електричних полів. Технічні характеристики кабелю показані у таблиці 17 [39].

Таблиця 17 - Технічні характеристики КВВГЕнг

Найменування	КВВГЕнг
Діапазон робочих температур	(мінус 50 - 50) °С
Мінімальна температура монтажу	мінус 15 °С
Максимальна температура жили	0 °С ⁷
Термін служби:	
– у ґрунті	15 років
– у приміщенні	30 років

Для з'єднання проводів із датчиком у кабель використовуємо клемну колодку КК42С фірми ОВЕН.

3.7 Розробка алгоритмів управління

В автоматизованих системах використовуються різні алгоритми, такі як:

- алгоритми запуску/зупинки технологічного процесу;
- П, ПІ, ПД, ПІД-алгоритм для автоматичного управління технологічним процесом;

– алгоритми централізованого управління.

3.7.1 Розробка алгоритму запуску

Цей алгоритм запускає систему підтримки мікроклімату у виробничому приміщенні. Алгоритм складається з наступних кроків:

1. Перевірка команди від оператора, якщо ні, нічого не відбувається.
2. Перевіряється рівень води в резервуарі пристрою осушення, якщо він не нормі, то видається повідомлення про заповнення води у резервуарі.
3. Перевіряються показання з датчиків, якщо дані параметра з одного датчика значно відрізняються від двох інших, видається повідомлення про порушення роботи датчика.
4. Видається команда на запуск перетворювача частоти приводу клапана системи опалення.
5. Видається команда на запуск перетворювача частоти приводу клапана системи охолодження.
6. Видається команда на запуск припливно-витяжної установки.
7. Видається команда на запуск пристрою зволоження.
8. Видається команда для запуску пристрою осушення.

3.7.2 Розробка алгоритму зупинки

Цей алгоритм зупиняє систему підтримки мікроклімату у виробничому приміщенні. Алгоритм складається з наступних кроків:

1. Перевірка команди від оператора, якщо ні, нічого не відбувається.
2. Видається команда на перетворювач частоти для припинення приводу клапана системи опалення.
3. Видається команда на перетворювач частоти для припинення приводу клапана системи охолодження.
4. Видається команда на зупинку припливно-витяжної установки.
5. Видається команда на зупинку пристрою зволоження.
6. Видається команда на зупинку пристрою осушення.

3.7.3 Розробка алгоритму автоматичного регулювання

Об'єктом керування є приміщення. Як регульована величина виступають параметри мікроклімату (температура, вологість, вміст пилу в повітрі). Як алгоритм регулювання використовується ПД-, ПІ-, ПД-закони. Оператор задає температуру, вологість, вміст пилу, який необхідно підтримувати у приміщенні. Ці значення подаються в ПЛК, де відбувається порівняння їх зі значенням поточної температури, вологості, вмісту пилу, отриманих з датчика. Потім відбувається формування вихідних сигналів. Ці сигнали подаються на виконавчі пристрої.

3.7.3.1 Математична модель системи

Схема автоматичного регулювання наведено на рис. 31.

Схема складається з: пристроїв, що задають (уставок), ПЛК (реалізує функції ПД-регулятора), перетворювачів частоти, моторів редукторів, штоків, клапанів, радіатора, теплообмінника, припливно-витяжної вентиляції, пристрою зволоження, пристрою осушення, регуляторів напруги, об'єкта управління (виробничого приміщення), датчиків пилу, температури та вологості (є зворотними зв'язком).

Оператор задає температуру, вологість та концентрацію твердих частинок у повітрі, які необхідно підтримувати у приміщенні. Введені значення температури подається в ПЛК, де відбувається порівняння її зі значенням поточної температури, отриманої з датчиків. Потім відбувається формування вихідного сигналу. Цей сигнал подається на частотні перетворювачі для завдання необхідної швидкості двигуна редуктора клапанів гарячого та холодного водопостачання. Також введені значення вологості та концентрації пилу надходять у контролер для формування сигналу на регулятор напруги живлення вентиляторів пристроїв вентиляції, зволоження та осушення.

Розглянемо передатні функції ланок, які входять у цю модель. Перетворювачі частоти формують частоти для моторів редукторів, тому їх передатні функції визначатимуться коефіцієнтами перетворення. Оскільки частотний перетворювач передає значення частоти цифровим каналом, його передатна функція буде:

$$W_{пч1} = W_{пч2} = \frac{f_{вых}}{f_{вх}} = \frac{50 \text{ Гц}}{50 \text{ Гц}} = 1, \quad (1)$$

де $W_{пч1}$ и $W_{пч2}$ - Передавальні функції перетворювачів частоти;

$f_{вых}$ - Вихідна частота перетворювача частоти, Гц;

$f_{вх}$ - Вхідна частота перетворювача частоти, Гц.

Передавальні функції моторів редукторів опишемо періодичною ланкою першого порядку:

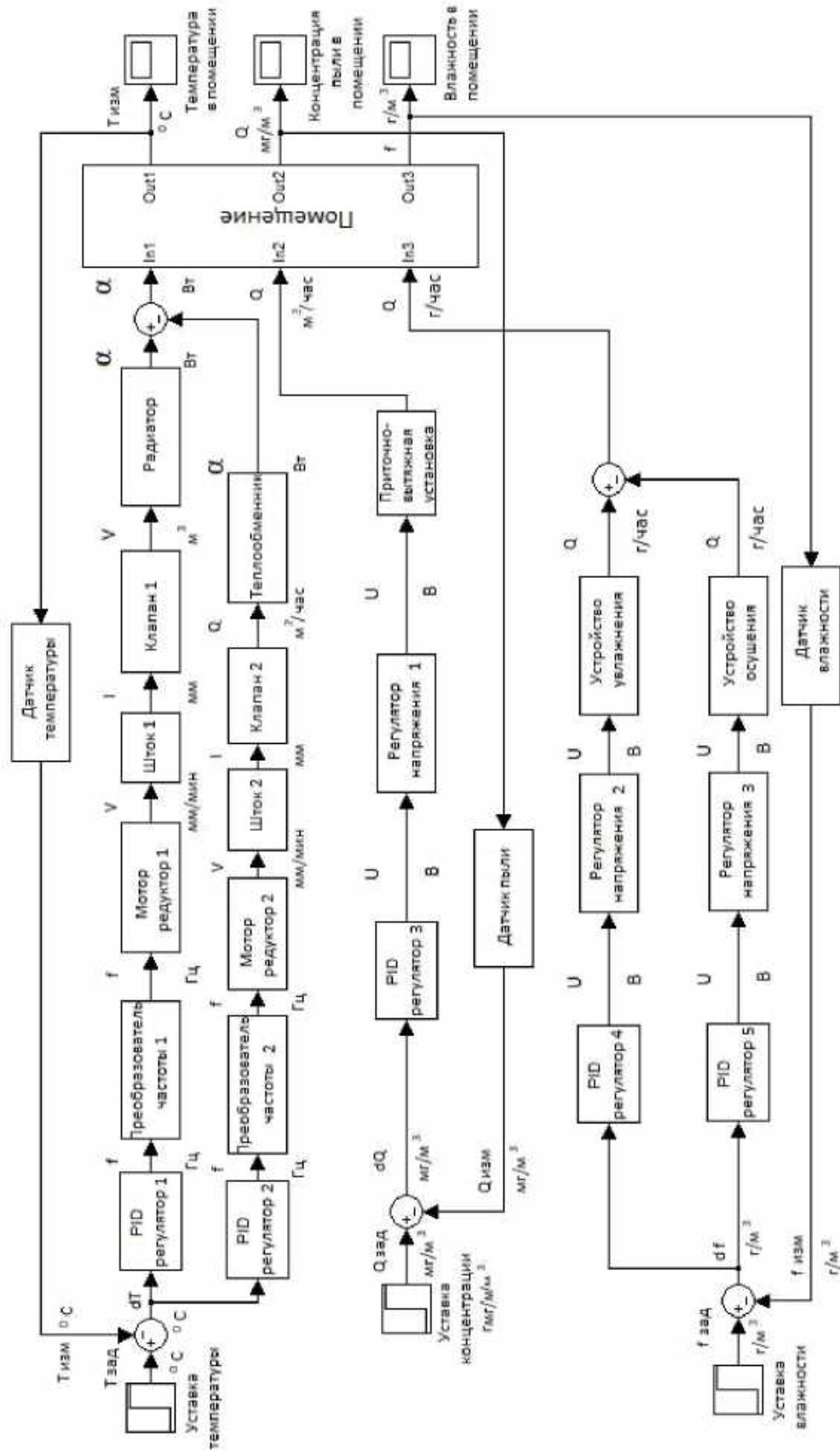


Рисунок 31 – Схема автоматического регулирования

$$W_{\text{мр1}} = W_{\text{мр2}} = \frac{k_{\text{мр}}}{T_{\text{мр}} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

де $W_{\text{мр1}}$ и $W_{\text{мр2}}$ - Передатна функція мотор редуктора;

$k_{\text{мр}}$ - Коефіцієнт передачі мотор редуктора, об/сек Гц;

$T_{\text{мр}}$ - Постійна часу мотор редуктора, с;

s - Оператор передавальної функції.

Необхідні характеристики моторів редукторів наведено у таблиці 18.

Таблиця 18 – Характеристики моторів редукторів

Характеристика	Значення
Робочий хід, l	10 мм
Швидкість керування, $v_{\text{дв}}$	30 мм/хв
Час закриття, $t_{\text{дв}}$	20 с

Коефіцієнт передачі моторів редукторів визначається як відношення кутової швидкості до частоти перетворювача

$$k_{\text{дв}} = \frac{v_{\text{дв}}}{f} = \frac{30}{50} = 0,6 \text{ мм}/(\text{мин} \cdot \text{Гц}). \quad (3)$$

Електромеханічна постійна часу асинхронних виконавчих двигунів живлення від 50 Гц відповідає (0,2 – 1) з [40].

Прийmemo постійну мотор редуктора рівною. Отримаємо передатну функцію мотор редуктора:

$$W_{\text{мр1}} = W_{\text{мр2}} = \frac{0,6}{0,5 \cdot s + 1}. \quad (4)$$

Шток є інтегруючою ланкою:

$$W_{\text{ш1}} = W_{\text{ш2}} = \frac{1}{T_{\text{ш}} \cdot s}, \quad (5)$$

Де $W_{\text{ш1}}$ и $W_{\text{ш2}}$ – передавальні функції штоків;

$T_{\text{ш}}$ - Постійна часу штока, с.

Постійна часу штока визначається значення часу повного ходу штока і дорівнює 20 с. Отримаємо передатну функцію штока:

$$W_{\text{ш1}} = W_{\text{ш2}} = \frac{1}{20 \cdot s}. \quad (6)$$

Клапан 1 опишемо періодичною ланкою першого порядку:

$$W_{\text{кл1}} = \frac{k_{\text{кл1}}}{T_{\text{кл1}} \cdot s + 1}, \quad (7)$$

де $W_{\text{кл1}}$ - Передатна функція клапана 1;
 $k_{\text{кл1}}$ - Коефіцієнт передачі клапана 1;
 $T_{\text{кл1}}$ - Постійна часу клапана 1, с.

Коефіцієнт передачі клапана 1 визначається як відношення максимального об'єму води в радіаторі V_{max} до ходу штока l :

$$k_{\text{кл1}} = \frac{V_{\text{max}}}{l} = \frac{2}{10} = 0,2 \frac{\text{л}}{\text{мм}}. \quad (8)$$

Постійну часу клапана 1 розрахуємо як відношення об'єму заповнення радіатора V_{max} до витрати води в трубі $Q^{\text{в}}$ (для діаметра 0,5 дюйма та швидкості води в трубі 1 м/с $Q^{\text{в}} = 0,127$ л/с):

$$T_{\text{кл1}} = \frac{V_{\text{max}}}{Q^{\text{в}}} = \frac{2}{0,127} = 15,7 \text{ с}. \quad (9)$$

Тоді передатна функція клапана 1:

$$W_{\text{кл1}} = \frac{0,2}{15,7 \cdot s + 1}. \quad (10)$$

Радіатор являє собою аперіодичну ланку:

$$W_{\text{р}} = \frac{k_{\text{р}}}{T_{\text{р}} \cdot s + 1}, \quad (11)$$

де W_p – передавальна функція радіатора;

k_p – коефіцієнт передачі радіатора, л/мм;

T_p – постійна часу радіатора, с.

Коефіцієнт передачі радіатора визначається як відношення тепловіддачі радіатора до обсягу теплоносія V_{max} :

$$k_p = \frac{\alpha}{V_{max}} = \frac{1610}{2} = 805 \text{ Вт/л.} \quad (12)$$

Час нагріву радіатора прийемо 900 с. Тоді передатна функція радіатора:

$$W_p = \frac{805}{900 \cdot s + 1}. \quad (13)$$

Оскільки для приміщення необхідно 15 радіаторів, з'єднаних паралельно, то узагальнена функція радіатора W_{po} буде:

$$W_{po} = \frac{12\,075}{900 \cdot s + 1}. \quad (14)$$

Клапан 2 опишемо аперіодичним ланкою першого порядку:

$$W_{кл2} = \frac{k_{кл2}}{T_{кл2} \cdot s + 1}, \quad (15)$$

де $W_{кл2}$ – передавальна функція клапана 2;

$k_{кл2}$ – коефіцієнт передачі клапана 2, м³ / (годину · мм);

$T_{кл2}$ – постійна часу клапана 2, с.

Коефіцієнт передачі клапана 2 визначається як відношення максимальної витрати води теплообмінника до ходу штока :

$$k_{кл2} = \frac{Q_{max}}{l} = \frac{0,14}{10} = 0,014 \text{ м}^3 / (\text{час} \cdot \text{мм}). \quad (16)$$

Постійна часу клапана 2 з урахуванням обсягу теплообмінника дорівнює:

$$T_{кл2} = \frac{V_t}{Q_{max}} = \frac{0,7}{0,14} = 5 \text{ с.} \quad (17)$$

Тоді передатна функція клапана 2:

$$W_{кл2} = \frac{0,014}{5 \cdot s + 1} \quad (18)$$

Теплообмінник являє собою аперіодичну ланку:

$$W_T = \frac{k_T}{T_T \cdot s + 1}, \quad (19)$$

де W_T – передавальна функція теплообмінника;

k_T - коефіцієнт передачі теплообмінника, Вт · годину / м³;

T_T - постійна часу теплообмінника, с.

Коефіцієнт передачі теплообмінника визначається як ставлення тепловіддачі теплообмінника α_x до витрати води Q_{max} :

$$k_T = \frac{\alpha_x}{Q_{max}}. \quad (20)$$

Розрахуємо тепловіддачу теплообмінника з формули:

$$Q_v = \frac{1000 \cdot \alpha_x}{(T_{вх} - T_{вих})}. \quad (21)$$

Q_v – витрата води

α_x – тепловіддача теплообмінника, Гкал/год;

$T_{вх}$ – температура води на вході теплообмінника, °С;

$T_{вих}$ – температура води на виході теплообмінника, °С [41].

За рахунок використання вентиляції збільшиться тепловіддача з теплообмінника. Для системи будемо використовувати дві припливно-витяжних установок з теплообмінником на кожному.

Тоді тепловіддача дорівнює:

$$\alpha_x = \frac{Q_v \cdot (T_{вх} - T_{вих})}{1000} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot (7 - 19) \cdot 10^6}{1000} = -3360 \frac{\text{ккал}}{\text{час}} = -3908 \text{ Вт}. \quad (22)$$

Коефіцієнт передачі теплообмінника дорівнює:

$$k_T = \frac{\alpha_x}{Q_{max}} = \frac{-3908}{0,14} = -27\,914 \text{ Вт} \cdot \text{час} / \text{м}^3. \quad (23)$$

Час охолодження теплообмінника приймемо 200 с. Тоді передатна функція теплообмінника:

$$W_T = \frac{-27\,914}{200 \cdot s + 1} \quad (24)$$

Датчики температури передають значення на контролер цифрового каналу. Передатна функція датчика температури буде виглядати як відношення виміряної температури $T_{изм}$ до переданої з датчика T_d :

$$W_{dT} = \frac{T_{изм}}{T_d} = \frac{90^\circ \text{С}}{90^\circ \text{С}} = 1, \quad (25)$$

де W_{dT} – передатна функція датчика температури.

Датчики вологості передають значення на контролер по цифровому каналу. Передаточна функція датчика вологості виглядатиме:

$$W_{\text{дв}} = \frac{f_{\text{изм}}}{f_{\text{д}}} = \frac{100\%}{100\%} = 1, \quad (26)$$

де $W_{\text{дв}}$ – передатна функція датчика вологості;

$f_{\text{изм}}$ - значення виміряної вологості;

$f_{\text{д}}$ – значення вологості із датчика.

Датчики пилу передають значення на контролер цифрового каналу.

Передатна функція датчика пилу виглядатиме:

$$W_{\text{дп}} = \frac{Q_{\text{изм}}}{Q_{\text{д}}} = \frac{1 \text{ г/м}^3}{1 \text{ г/м}^3} = 1, \quad (27)$$

де $W_{\text{дп}}$ – передатна функція датчика пилу;

$Q_{\text{изм}}$ – значення виміряної концентрації пилу;

$Q_{\text{д}}$ – значення концентрації пилу з датчика.

Регулятор напруги 1 представимо підсилювальною ланкою:

$$W_{\text{рн1}} = k_{\text{рн1}}, \quad (28)$$

де $W_{\text{рн1}}$ – передавальна функція регулятора напруги 1;

$k_{\text{рн1}}$ – коефіцієнт передачі регулятора напруги 1, В/В.

Коефіцієнт передачі регулятора напруги 1 визначається як відношення вихідної напруги з регулятора $U_{\text{вых1}}$ до сигналу з контролера $U_{\text{к1}}$:

$$W_{\text{рн1}} = \frac{U_{\text{вых1}}}{U_{\text{к1}}} = \frac{220}{220} = 1. \quad (29)$$

Припливно-витяжну установку представимо аперіодичною ланкою:

$$W_{\text{в}} = \frac{k_{\text{в}}}{T_{\text{в}} \cdot s + 1}, \quad (30)$$

де $W_{\text{в}}$ – передавальна функція вентиляції;

$k_{\text{в}}$ - коефіцієнт передачі вентиляції, м³/год · В;

$T_{\text{в}}$ - постійна часу вентиляції, с.

Вентиляція використовується для очищення повітря від пилу та охолодження повітря в приміщенні. Охолодження відбувається з допомогою посилення потоку повітря через теплообмінник.

Коефіцієнт передачі вентиляції визначається як відношення максимальної витрати повітря Q повітря до вихідної напруги з регулятора $U_{\text{вих 1}}$:

$$k_v = \frac{Q_{\text{возд}}}{\Delta U_{\text{вих 1}}} = \frac{205}{(220-85)} = 1,52 \text{ м}^3/\text{час} \cdot \text{В}. \quad (31)$$

Постійну часу вентиляції приймемо рівною 0,8 с [40]. Тоді передатна функція вентиляції:

$$W_{yy} = \frac{1,52}{0,8 \cdot s + 1}. \quad (32)$$

Регулятор напруги 2 і 3 представимо підсилювальною ланкою:

$$W_{\text{рн2}} = W_{\text{рн3}} = k_{\text{рн}}, \quad (33)$$

де $W_{\text{рн2}}$ і $W_{\text{рн3}}$ – передавальні функції регуляторів напруги 2 та 3;

$k_{\text{рн}}$ – коефіцієнт передачі регуляторів напруги 2 та 3, В/В.

Коефіцієнти передачі регуляторів напруги 2 і 3 визначаються як відношення вихідної напруги з регулятора $U_{\text{вих 2}}$ до сигналу з контролера $U_{\text{к 2}}$:

$$W_{\text{рн2}} = W_{\text{рн3}} = \frac{U_{\text{вих 2}}}{U_{\text{к 2}}} = \frac{36}{10} = 3,6. \quad (34)$$

Пристрій зволоження представимо аперіодичною ланкою:

$$W_{yy} = \frac{k_{yy}}{T_{yy} \cdot s + 1}, \quad (35)$$

де W_{yy} – передатна функція пристрою зволоження;

k_{yy} - Коефіцієнт передачі пристрою зволоження, г / (годину · В);

T_{yy} - постійна часу пристрою зволоження, с.

Коефіцієнт передачі пристрою зволоження визначається як відношення продуктивності пристрою зволоження k_{yy} до вихідної напруги з регулятора $U_{\text{вих 2}}$:

$$k_{yy} = \frac{Q_{yy}}{U_{\text{вих 2}}} = \frac{1600}{36} = 44,4 \text{ г}/(\text{час} \cdot \text{В}). \quad (36)$$

Постійну часу пристрою зволоження приймемо рівною 3 с.

$$W_{yy} = \frac{44,4}{3 \cdot s + 1}. \quad (37)$$

Пристрій осушення представимо аперіодичною ланкою:

$$W_{yo} = \frac{k_{yo}}{T_{yo} \cdot s + 1}, \quad (38)$$

де W_{yo} – передавальна функція пристрою осушення;

k_{yo} - коефіцієнт передачі пристрою осушення, г / (годину · В);

T_{yo} - постійна часу пристрою осушення, с.

Коефіцієнт передачі пристрою осушення визначається як відношення продуктивності пристрою осушення до вихідної напруги регулятора:

$$k_{yo} = \frac{Q_{yo}}{U_{\text{вих}2}} = \frac{-2500}{36} = -69,4 \text{ г/}(\text{час} \cdot \text{В}). \quad (39)$$

Постійну часу пристрою осушення прийемо рівною 3 с.

$$W_{yo} = \frac{-69,4}{3 \cdot s + 1} \quad (40)$$

Складемо модель зміни параметрів приміщення.

Зміна температури приміщення опишемо наступною передавальною функцією [36]:

$$W_{\text{тп}} = \frac{\frac{\alpha \cdot 15 + \alpha_s}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} + T_{\text{ул}}}{T_{\text{тп}} \cdot s + 1}, \quad (41)$$

де $W_{\text{тп}}$ – передатна функція зміни температури приміщення;

$k_{\text{ок}}$ – коефіцієнт тепловіддачі огорожі, $\text{кДт/м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}$;

$F_{\text{ок}}$ – площа огорожувальної конструкції, м^2 ;

$T_{\text{ул}}$ – температура зовні приміщення, $^\circ\text{C}$;

$T_{\text{тп}}$ – постійна часу зміни температури приміщення, с. Коефіцієнт тепловіддачі огороження дорівнює:

$$k_{\text{ок}} = 3,72 \text{ кДт/м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C} = 1,03 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}, \quad (42)$$

Площа огорожувальної конструкції дорівнює:

$$F_{\text{ок}} = 2 \cdot (25 + 12) \cdot 4 = 296 \text{ м}^2, \quad (43)$$

Постійна часу зміни температури приміщення:

$$T_{\text{тп}} = \frac{G_{\text{пм}} \cdot c_{\text{пм}}}{k_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 12 \cdot 1,29 \cdot 10^3}{3,72 \cdot 10^3 \cdot 296} = 1,406 \text{ час} = 5062 \text{ с}. \quad (44)$$

де $G_{\text{пм}}$ – маса повітря приміщення, кг ;

$c_{\text{пм}}$ – питома теплоємність повітря, $\text{Дт/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ [42].

Тоді передатна функція зміни температури приміщення:

$$W_{\text{тп}} = \frac{\frac{\alpha \cdot 15}{305} + T_{\text{ул}}}{5062 \cdot s + 1}, \quad (45)$$

Для визначення відносної вологості у приміщенні скористаємось таблицею залежності відносної вологості від температури та концентрації води у повітрі (рисунок 32) [43].

	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
100%	0,23	0,37	0,60	0,93	1,4	2,1	3,2	4,6	6,5	9,2	12,8	17,5	23,8	31,8	42,1
90%	0,21	0,34	0,54	0,84	1,3	1,9	2,8	4,1	5,9	8,3	11,5	15,8	21,4	28,6	37,9
80%	0,18	0,30	0,48	0,75	1,1	1,7	2,5	3,7	5,2	7,4	10,2	14,0	19,0	25,4	33,7
70%	0,16	0,26	0,42	0,65	1,0	1,5	2,2	3,2	4,6	6,4	9,0	12,3	16,6	22,3	29,5
60%	0,14	0,22	0,36	0,56	0,86	1,3	1,9	2,7	3,9	5,5	7,7	10,5	14,3	19,1	25,3
50%	0,11	0,19	0,30	0,47	0,71	1,1	1,6	2,3	3,3	4,6	6,4	8,8	11,9	15,9	21,1
40%	0,09	0,15	0,24	0,37	0,57	0,86	1,3	1,8	2,6	3,7	5,1	7,0	9,5	12,7	16,9
30%	0,07	0,11	0,18	0,28	0,43	0,64	0,95	1,4	2,0	2,8	3,8	5,3	7,1	9,5	12,6
20%	0,05	0,07	0,12	0,19	0,29	0,43	0,63	0,92	1,3	1,8	2,6	3,5	4,8	6,4	8,4
15%	0,03	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,47	0,69	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	4,8	6,3
10%	0,02	0,04	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2
5%	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,16	0,23	0,33	0,46	0,64	0,88	1,2	1,6	2,1
1%	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42

Рисунок 32 – Залежність відносної вологості від температури та концентрації води у повітрі

Для зручності розрахунку відносної вологості в середовищі Matlab/Simulink визначимо її залежність від концентрації води в повітрі при різних температурах повітря. За таблицею зручніше побудувати зворотну залежність, тобто, якою має бути концентрація води для отримання необхідної вологості. Використовуючи таблицю, побудували дані залежності різних температур (рисунок 33).

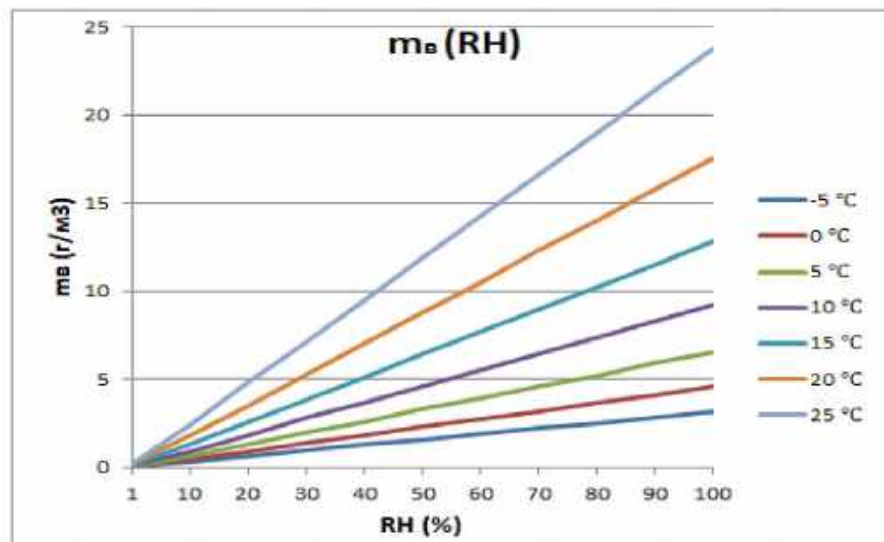


Рисунок 33 – Графіки залежності концентрація води у повітрі для отримання необхідної вологості

За графіками можна помітити лінійну залежність, причому графіки проходять через нуль.

$$Q_{\text{в}}(RH) = k_i \cdot RH. \quad (46)$$

де Q_v – концентрація води у повітрі, г/м^3 ;

ki - Коефіцієнти перетворення, $\text{г/м}^3 \cdot \%$;

RH - відносна вологість, %.

Для кожної температури потрібно визначити коефіцієнт зв'язку. Для цього достатньо взяти по одній точці на кожному графіку та, підставивши значення концентрації та вологості, розрахувати коефіцієнти. Для зручності були обрані точки при відносній вологості, що дорівнює ста відсоткам. Отримані коефіцієнти представлені у таблиці 19.

Таблиця 19 - Теоретично та функціонально розраховані коефіцієнтів

$T, ^\circ\text{C}$	-5	0	5	10	15	20	25
$k_{\text{теор}}, \text{г/м}^3$	0,032	0,046	0,065	0,092	0,128	0,175	0,238
$k_{\text{розч}}, \text{г/м}^3$	0,0369	0,046	0,0645	0,092	0,1289	0,175	0,2304

Набули залежності концентрація води в повітрі для отримання необхідної вологості для кількох значень температур. Для зручності використання необхідно звести ці залежності до одного рівняння. Визначимо залежність коефіцієнтів від температури повітря у приміщенні (рис. 34).

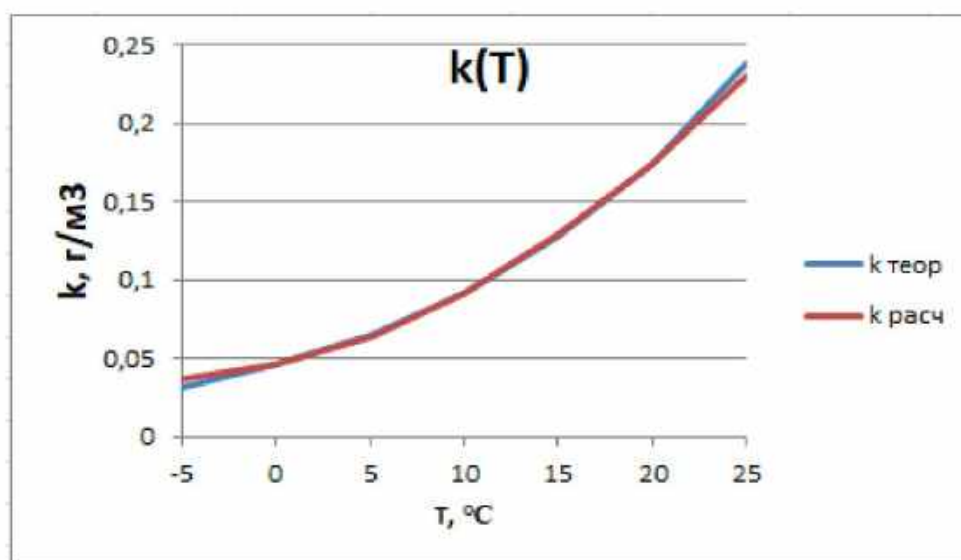


Рисунок 34 – Графіки залежності теоретично та функціонально розрахованих значень коефіцієнтів

На графіку простежується квадратична залежність коефіцієнтів від температури повітря. Проведемо розрахунок коефіцієнтів квадратичного рівняння,

використовуючи три точки.

Рівняння зі знайденими коефіцієнтами:

$$k(T) = 0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046 \quad (47)$$

де T – температура повітря, °C;

k - коефіцієнт перетворення, г/м³ · %.

Коефіцієнти, розраховані за отриманим рівнянням, представлені в таблиці вище, а також у вигляді графіка залежності на малюнку вище.

Таким чином, остаточна формула залежності концентрація води в повітрі для отримання необхідної вологості від температури:

$$Q_v(RH, T) = (0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046) \cdot RH. \quad (48)$$

Звідси залежність відносної вологості від концентрації води в повітрі та температури:

$$RH(Q_v, T) = \frac{Q_v}{(0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046)}. \quad (49)$$

Процес зміни вологості повітря в приміщенні уявимо аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{\text{вп}} = \frac{k_{\text{вп}}}{T_{\text{вп}} \cdot s + 1}, \quad (50)$$

де $W_{\text{вп}}$ – передатна функція зміни вологості у приміщенні;

$k_{\text{вп}}$ – коефіцієнт зміни вологості, год/м³;

$T_{\text{вп}}$ – постійна часу зміни вологості у приміщенні, с.

Коефіцієнт зміни вологості дорівнює відношенню концентрації води в повітрі f_v до продуктивності пристрою зволоження $Q_{\text{уу}}$. За концентрацію води прийнято максимальний вміст води у повітрі при ста градусів:

$$k_{\text{вп}} = \frac{f_v}{Q_{\text{уу}}} = \frac{588,208}{1600} = 0,368 \text{ час/м}^3, \quad (51)$$

Постійна час зміни вологості в приміщенні залежить від розміру приміщення. Враховуючи переміщення повітряних мас під дією теплових впливів, приймемо:

$$T_{\text{вп}} = 1,406 \text{ год} = 5062 \text{ с}. \quad (52)$$

Тоді передатна функція зміни вологості у приміщенні:

$$W_{\text{вп}} = \frac{0,368}{5062 \cdot s + 1}, \quad (53)$$

Процес зміни якості повітря в приміщенні уявимо аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{\text{кп}} = \frac{k_{\text{кп}}}{T_{\text{кп}} \cdot s + 1}, \quad (54)$$

де $W_{\text{кп}}$ – передатна функція зміни концентрації пилу у приміщенні;

$k_{\text{кп}}$ – коефіцієнт зміни концентрації пилу, год/м³;

$T_{\text{кп}}$ – постійна часу зміни концентрації пилу в приміщенні, с.

Коефіцієнт концентрації пилу дорівнює відношенню концентрації пилу в приміщенні $f_{\text{п}}$ до продуктивності пристрою зволоження $Q_{\text{уу}}$:

$$k_{\text{кп}} = \frac{f_{\text{п}}}{Q_{\text{уу}}} = \frac{200}{205} = 0,98 \text{ час/м}^3. \quad (55)$$

Постійна час зміни концентрації пилу залежить від розміру приміщення. Для спрощення побудови моделі можна прийняти за постійний час зміни температури [44].

Тоді постійна час зміни концентрації пилу:

$$T_{\text{кп}} = 1,406 \text{ год} = 5062 \text{ с}. \quad (56)$$

Тоді передатна функція зміни концентрації пилу у приміщенні:

$$W_{\text{кп}} = \frac{0,98}{5062 \cdot s + 1}, \quad (57)$$

Знайшли передатні функції всіх елементів системи, крім регуляторів, збудували модель зміни параметрів мікроклімату. Математична модель системи наведена на рис. 35. Математична модель приміщення наведена на рис. 36.

Далі виконаємо налаштування регуляторів для управління клапанами системи опалення та охолодження та управління вентиляторами систем зволоження, осушення та вентиляції.

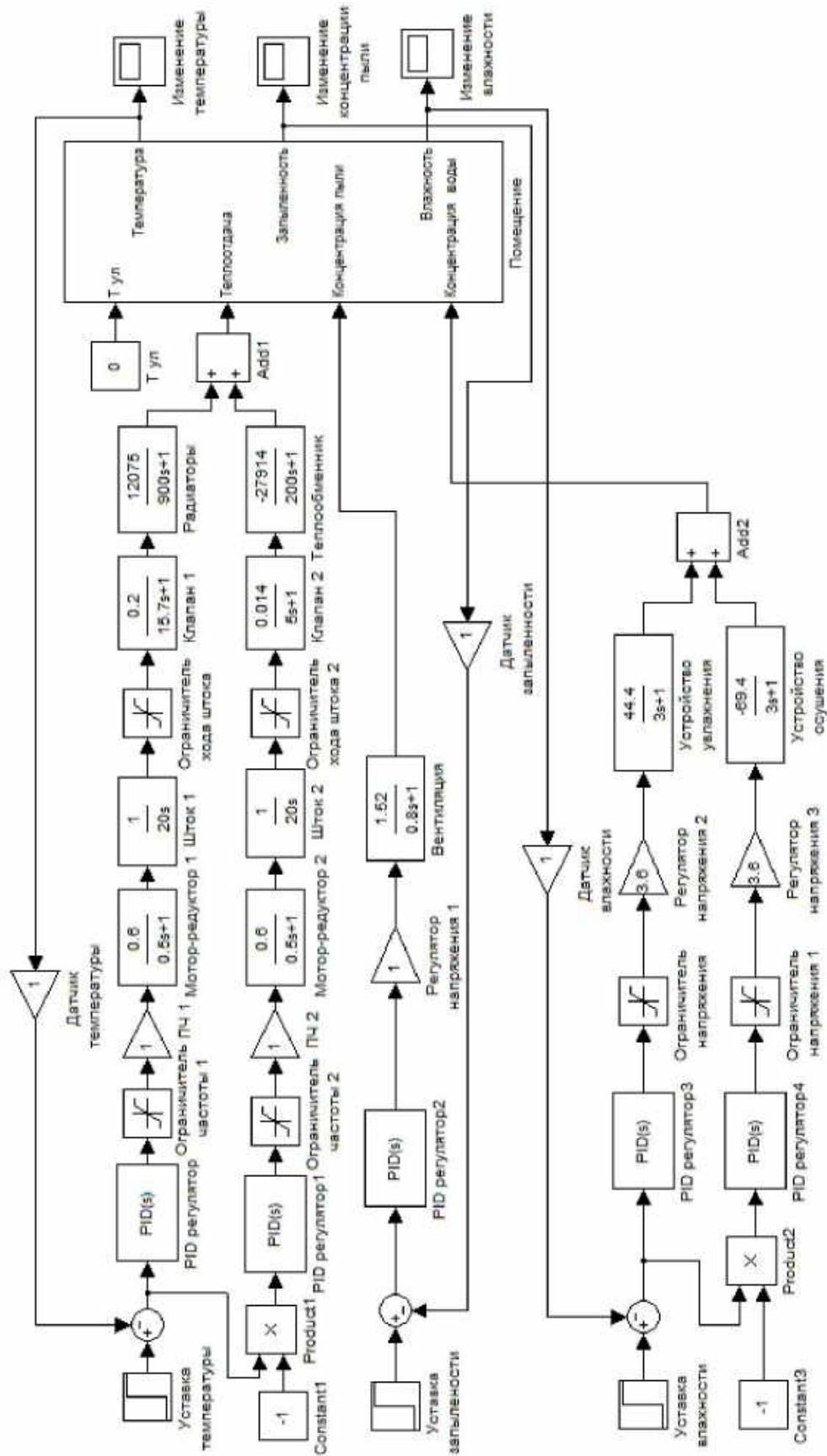


Рисунок 35 – Математична модель системи автоматичного регулювання

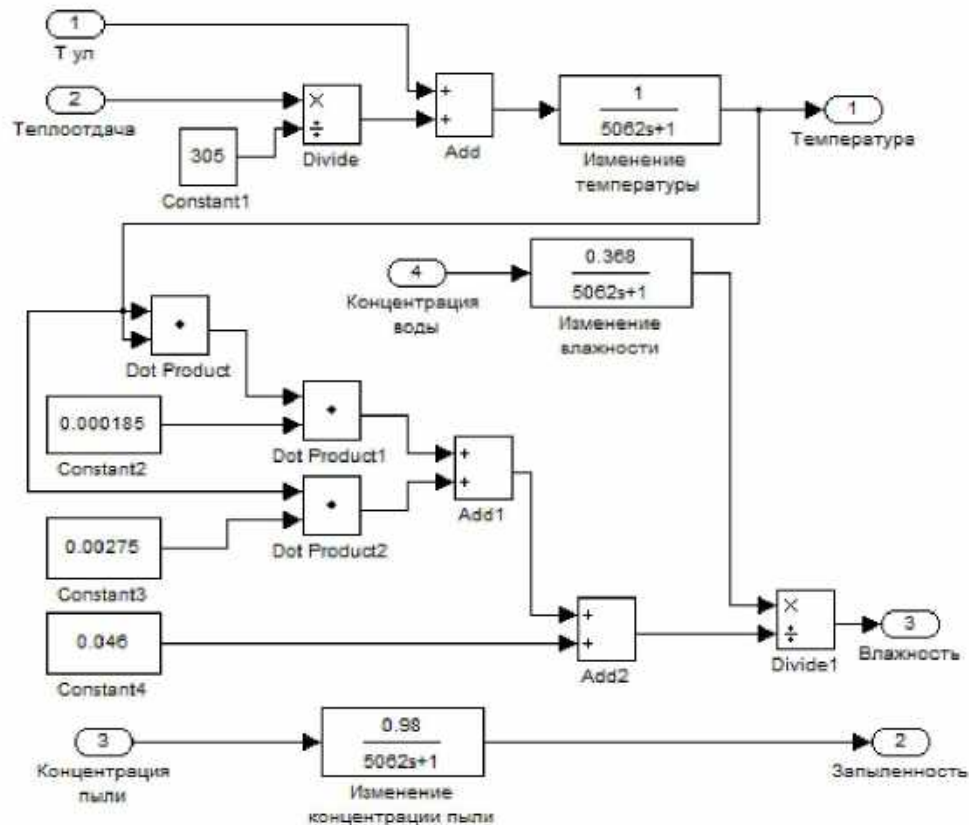


Рисунок 36 – Математична модель приміщення

3.7.3.2. Налаштування регулятора

Формування керуючих впливів ПІД-регуляторів відбуваються відповідно до різниць між уставками та значеннями мікроклімату. Налаштування регуляторів проводилися за допомогою методу Циглера-Нікольса, автоматичного налаштування в пакеті Matlab та ручного налаштування.

Для налаштування методом Циглера-Нікольса відключаємо інтегральну та диференціальну складові регулятора та змінюємо пропорційну складову доти, доки система не вийде на коливальний режим з постійною амплітудою.

Виконаємо налаштування регулятора системи опалення. На коливальний режим система вийшла при коефіцієнті посилення, що дорівнює 0,0054. Період коливань дорівнює 13 542 секунд.

Розрахуємо параметри регулятора:

$$k_{п} = 0,6 K^* = 0,00324; \quad (58)$$

$$k_i = 1,2 K^* / T^* = 4,8 \cdot 10^{-7}; \quad (59)$$

$$k_d = 0,075 K^* \cdot T^* = 5,48; \quad (60)$$

де k_p - Пропорційний коефіцієнт;

k_i - Інтегральний коефіцієнт;

k_d - Диференціальний коефіцієнт;

K^* – коефіцієнт посилення при коливальному режимі;

T^* – період коливання при коливальному режимі [45].

Підставивши коефіцієнти, отримуємо перехідний процес і показники якості на рис. 36. Час перехідного процесу дорівнює 48600 секунд, перерегулювання дорівнює 62,3 відсотків. Цей спосіб мало хороший для настройки. Виконаємо налаштування регулятора автоматично засобами Matlab. Перехідний процес, розраховані коефіцієнти та показники якості наведено на рис. 37.

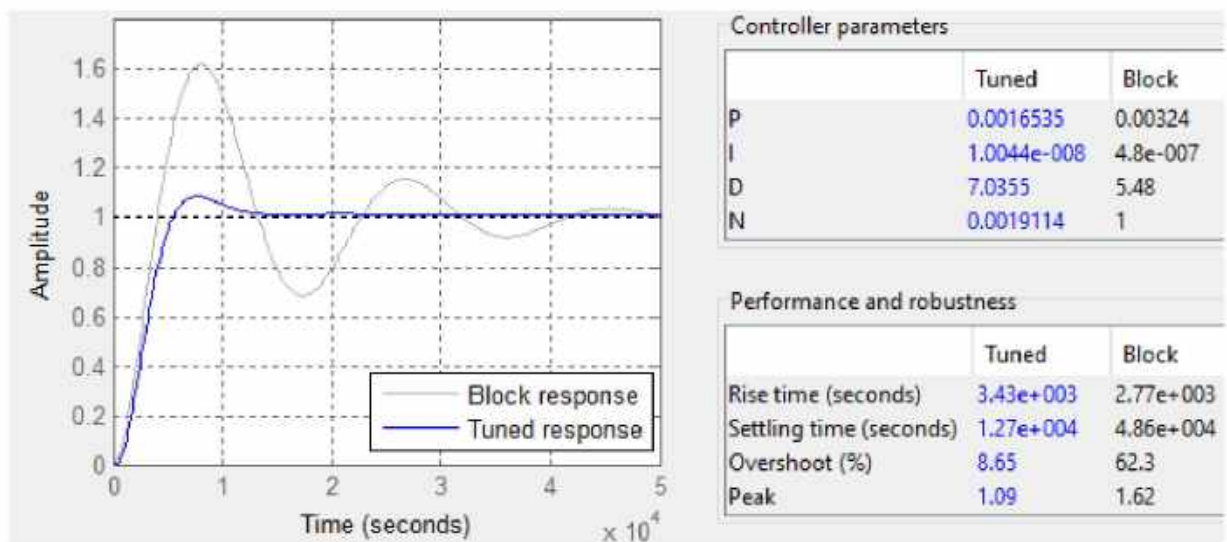


Рисунок 37 – Перехідні процеси за методами Циглера-Нікольса (Block response) та автоматичного налаштування (Tuned response) для системи опалення

Якість перехідного процесу з коефіцієнтами, отриманими автоматично, значно краще, ніж розрахованих за методом Циглера-Нікольса.

Проведемо підстроювання параметрів регулятора поліпшення якості перехідного процесу з урахуванням автоматично отриманих коефіцієнтів.

Інтегральна складова регулятора була виключена, оскільки не мала видимого впливу на якість перехідного процесу, оскільки в системі переважає інтегруюча

ланка. Таким чином використовуємо ПД-регулятор. Перехідний процес, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рис. 38.

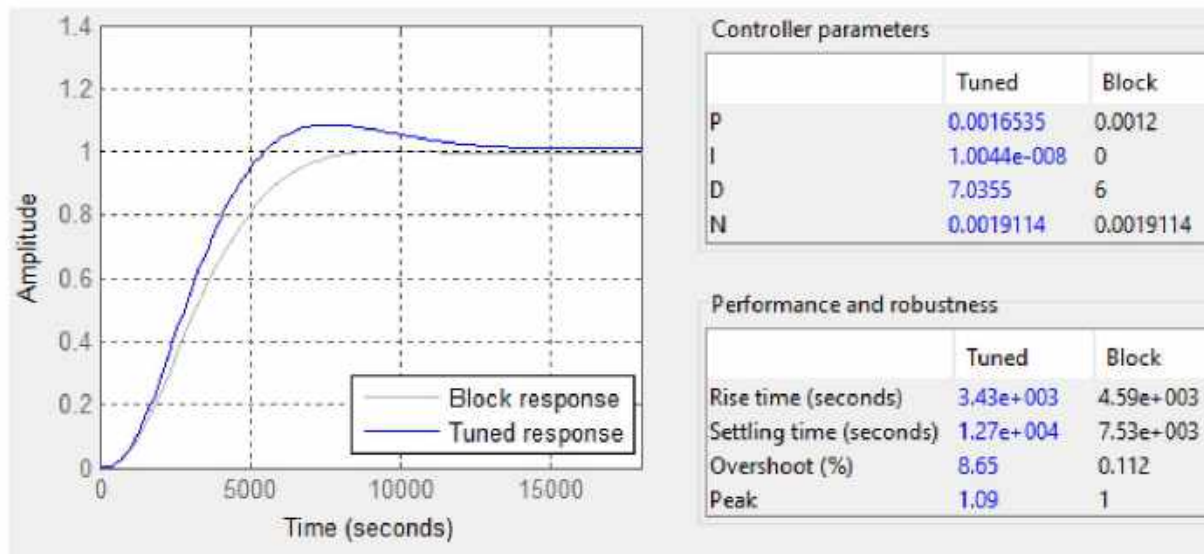


Рисунок 38 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи опалення

Порівняння показників якості представлено у таблиці 20.

Таблиця 20 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості за різних методів налаштування регулятора для системи опалення

Параметри	Метод Циглера-Нікольса	Автоматична налаштування Matlab	Ручна підстроювання
k_p	0,00324	0,0016535	0,0012
k_i	$4,8 \cdot 10^{-7}$	10^{-8}	0
k_d	5,48	7,0355	6
t_{per}, c	48600	12700	7530
$\sigma, \%$	62,3	8,65	0

З таблиці видно, що найкращим способом є ручне налаштування. При цьому налаштуванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора системи охолодження. На коливальний режим система вийшла при коефіцієнті посилення, що дорівнює 0,13. Період коливаний дорівнює 6446 секунд.

Розрахуємо параметри регулятора:

$$k_p = 0,6 K^* = 0,078; \quad (61)$$

$$k_i = 1,2 K^* / T^* = 2,42 \cdot 10^{-5}; \quad (62)$$

$$k_d = 0,075 K^* \cdot T^* = 62,85. \quad (63)$$

Підставивши коефіцієнти, отримуємо перехідний процес і показники якості на рис. 38. Час перехідного процесу дорівнює 35500 секунд, перерегулювання дорівнює 65,8 відсотків. Даний метод недостатньо хороший настройки.

Виконаємо налаштування регулятора автоматично засобами Matlab. Перехідний процес, розраховані коефіцієнти та показники якості наведено на рис. 39.

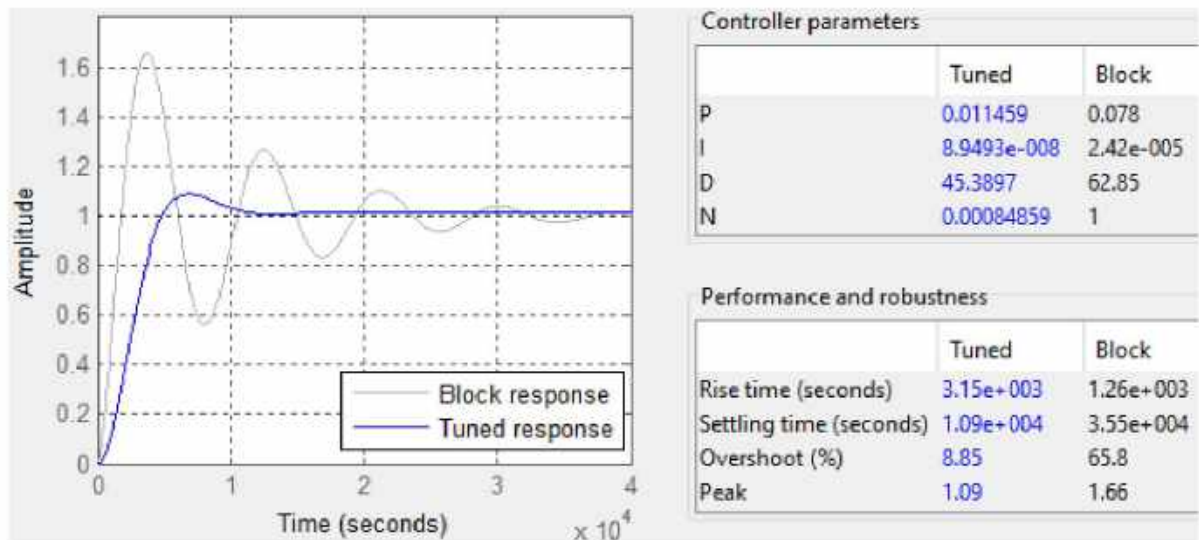


Рисунок 39 – Перехідні процеси за методами Циглера-Нікольса (Block response) та автоматичного налаштування (Tuned response) для системи охолодження

Якість перехідного процесу з коефіцієнтами, отриманими автоматично, значно краще, ніж розрахованих за методом Циглера-Нікольса. Проведемо підстроювання параметрів регулятора поліпшення якості перехідного процесу з урахуванням автоматично отриманих коефіцієнтів. Інтегральна складова регулятора була виключена, оскільки не мала видимого впливу на якість перехідного процесу, оскільки в системі переважає інтегруюча ланка. Таким чином використовуємо ПД-

регулятор. Перехідний процес, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рис. 40.

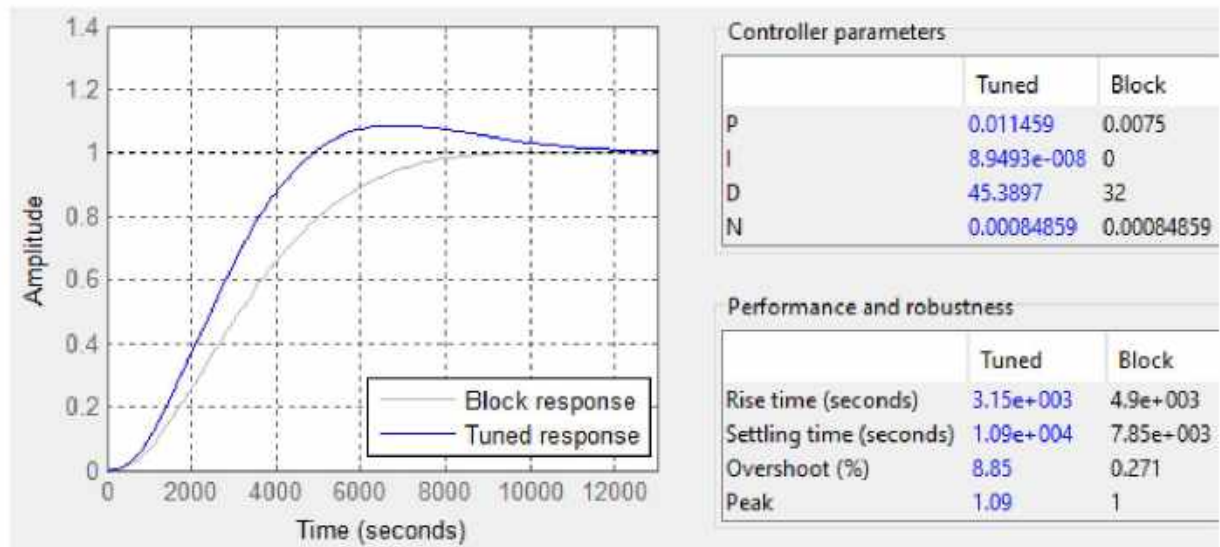


Рисунок 40 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора системи охолодження

Порівняння показників якості представлено в таблиці 21.

Таблиця 21 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи охолодження

Параметри	Метод Циглера-Нікольса	Автоматична налаштування Matlab	Ручна підстроювання
k_p	0,078	0,01146	0,0075
k_i	$2,42 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-8}$	0
k_d	62,85	45,39	32
t_{per}, c	35500	10900	7850
$\sigma, \%$	65,8	8,85	0

З таблиці видно, що найкращим способом є ручне налаштування. При цьому налаштуванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора системи зволоження автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для

покращення якості перехідного процесу. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рис. 41.

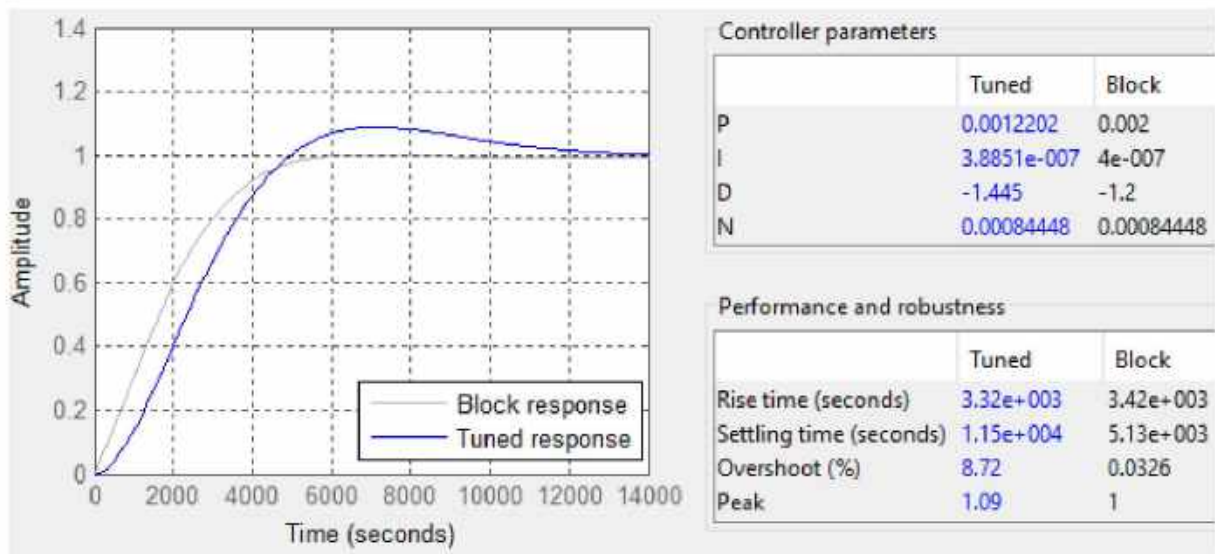


Рисунок 41 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи зволоження

Порівняння показників якості представлено у таблиці 22.

Таблиця 22 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи зволоження

Параметри	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	0,00122	0,002
k_i	$3,885 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
k_d	-1,445	-1,2
t_{per}, c	11500	5130
$\sigma, \%$	8,72	0

При ручному підстроюванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора системи осушення автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рис. 42.

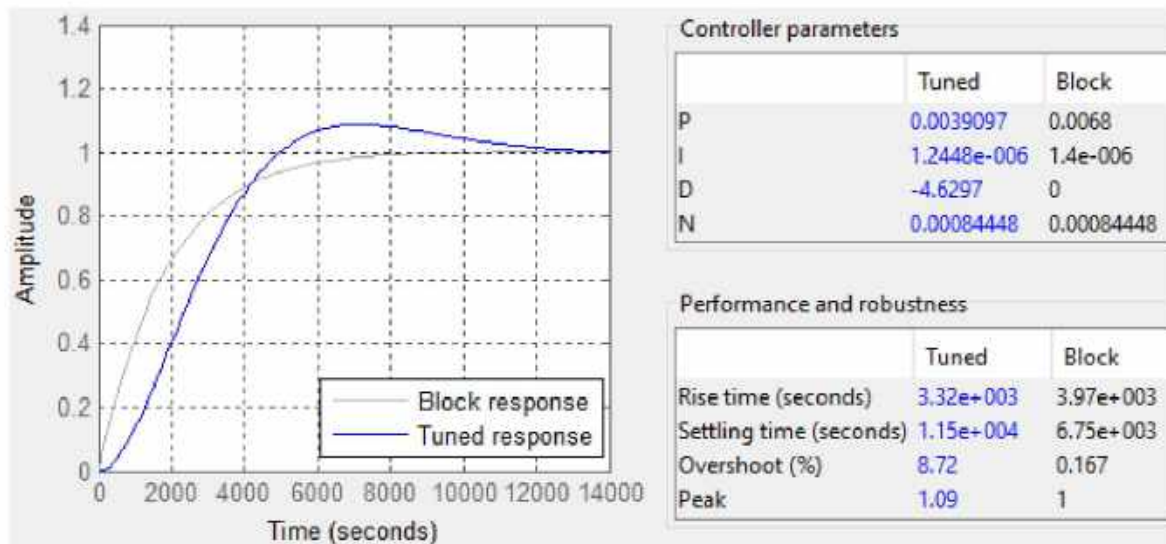


Рисунок 42 – Перехідні процеси при автоматичному налаштуванні (Tuned response) та ручному підстроюванні (Block response) регулятора для системи осушення

Порівняння показників якості представлено у таблиці 23.

Таблиця 23 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи осушення

Параметри	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	0,00391	0,0068
k_i	$1,2448 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
k_d	-4,63	0
t_{per}, c	11500	6750
$\sigma, \%$	8,72	0

При ручному підстроюванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора системи вентиляції автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. При зміні диференціальної складової не спостерігалось суттєвої зміни якості, тому ця складова була виключена. Для системи вентиляції використовуємо ПІ-регулятор. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рис. 43.

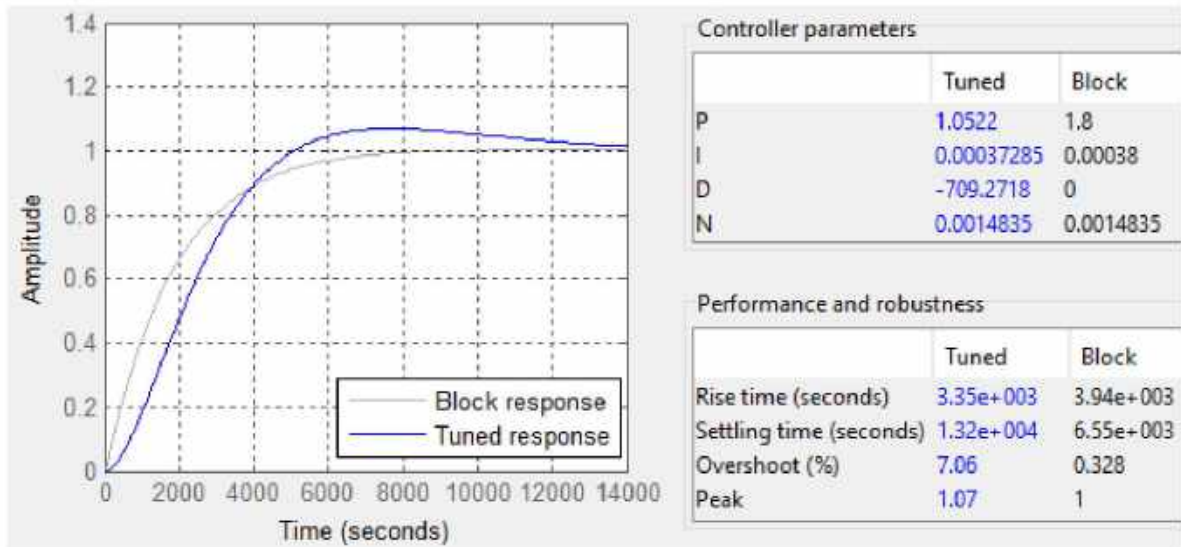


Рисунок 43 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора системи вентиляції

Порівняння показників якості представлено в таблиці 24.

Таблиця 24 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи вентиляції

Параметри	Автоматичне налаштування Matlab	Ручне підстроювання
k_p	1,0522	1,8
k_i	$3,73 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
k_d	-709,27	0
$t_{\text{пер}}, \text{с}$	13200	6550
$\sigma, \%$	7,06	0

При ручному підстроюванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Отримано математичну модель системи підтримки параметрів мікроклімату з налаштованими регуляторами.

3.7.3.3. Аналіз поведінки системи за зовнішнього впливу

Змоделюємо ситуацію, коли діє зовнішня температура промислового приміщення. Зовнішня температура динамічно змінюватиметься протягом світлового дня за гармонійним законом з амплітудою 8 градусів, починаючи зі

стрибка 10 градусів. Перехідний процес та графік зміни температури вулиці наведено на рис. 44.

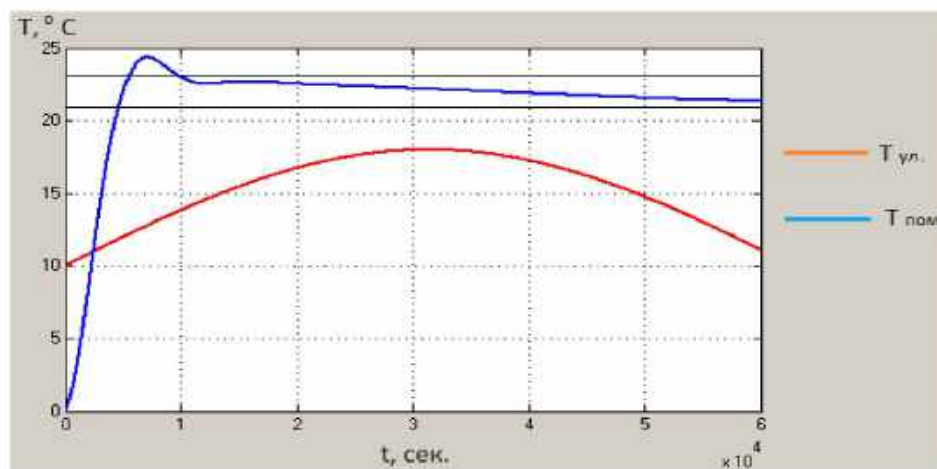


Рисунок 44 – Перехідний процес із зовнішнім впливом

На графіку видно, що система обробляє обурення і далі тримає температуру в приміщенні діапазоні 5% від уставки. Дану систему можна використовувати як систему стабілізації температури в приміщенні. Перехідний процес з впливом, що обурює, отримав перерегулювання 11 відсотків і час регулювання дорівнює 9880 секунд.

3.8. Розробка екранних форм

На робочому місці оператора розміщується персональний комп'ютер із показаннями стану роботи системи. Екранну форму роботи системи наведено у додатку Д. Форма містить графіки зміни показників мікроклімату у приміщенні (температуру, вологість, рівень запиленості). Зліва вгорі містяться кнопки включення та відключення системи, блок про стан роботи пристроїв зволоження, осушення та вентиляції, блок сигналізації аварійних ситуацій, блок показань відсотка відкриття клапанів та обсягу використання теплоносія. У разі аварійної ситуації відбувається моргання відповідної панелі.

В даному випадку включено пристрій зволоження, вентиляції, відкритий клапан радіатора на 40%, відкритий клапан теплообмінника на 10%, пристрій осушення вимкнено. Також сигналізується проблема з датчиком пилу № 2.

Розділ 4. Ресурсоефективність та ресурсозбереження

Даний розділ роботи призначений для аналізу конкурентоспроможності, ресурсоефективності та розрахунку бюджету розробки, що проводиться. Ця робота проводиться в лабораторії автоматизації технологічних процесів (ауд. 13 1 корпусу УПА) і передбачає дослідження ефективності методів підтримки параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні. Для вирішення поставленої інженерної задачі застосовується програмний пакет MATLAB як засіб для моделювання та налагодження системи автоматичного регулювання параметрів мікроклімату (температури, вологості та вмісту пилу у повітрі). Оцінка перспективності, планування та формування бюджету наукового дослідження дозволяють аналізувати його економічну ефективність.

4.1. Потенційні споживачі результатів дослідження

Об'єктом розроблення є система автоматичного регулювання параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Потенційними споживачами системи можуть бути промислові підприємства (виробництво товарів, складські приміщення), об'єкти житлово-комунальної сфери (котельні), офісні приміщення. Сегментування ринку проводиться за сферою використання та за розміром компанії-замовника. Карта сегментування наведена у таблиці 25.

Таблиця 25 - Карта сегментування

		Сфера використання		
		Промислові підприємства	Об'єкти ЖКГ	Офісні приміщення
Розмір організації	Великі			
	Середні			
	Дрібні			

У наведеній карті сегментування показано, що для реалізації розробки підходять дрібні та середні підприємства з виробництва товарів та їх складування, дрібні та середні об'єкти ЖКГ, а також будь-які офісні приміщення. Для використання у великих організаціях потрібно впровадити в систему підтримку

промислових мереж і налаштувати взаємодію з SCADA-системами.

4.2. Аналіз конкурентних технічних рішень

На ринку як виробники систем автоматичного регулювання параметрів мікроклімату виберемо компанії «ОВЕН» і "Технології мікроклімату".

Компанія «ОВЕН» спеціалізується на виготовленні різноманітних датчиків і контролерів, у тому числі і для систем підтримки мікроклімату. Крім постачання обладнання компанія здійснює розробку та впровадження проектів автоматизації на власному устаткуванні. У системі керування мікрокліматом використовується контролер, перетворювач інтерфейсів, датчики температури та вологості, датчик концентрації вуглекислого газу, релейні модулі виведення.

Львівський завод «Технології мікроклімату» пропонує обладнання для підтримки мікроклімату, а також послуги з проектування систем вентиляції, кондиціонування, холодопостачання, опалення. Цим забезпечує комплексну автоматизацію підтримки клімату виробничих приміщень.

Аналіз конкурентних технічних рішень визначається за такою формулою [46]:

$$K = \sum B_i \cdot B_v \quad (64)$$

де K – конкурентоспроможність наукової розробки;

B_i – вага показника;

B_i – бал i -го показника.

Порівняльна таблиця конкуруючих технічних рішень наведена у таблиці 26.

Т

аблиця 26 - Порівняння конкуруючих технічних рішень

Критерії оцінки	Вага критерію	Бали			Конкуренто-здатність		
		БФ	Б _{к1}	Б _{к2}	Кф	К _{к1}	К _{к2}
Технічні критерії оцінки ресурсоефективності							
Зручність в експлуатації	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Перешкодостійкість	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Енергозбереження	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,40
Надійність	0,1	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Безпека	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
Якість роботи системи	0,12	5	5	3	0,60	0,60	0,36
Точність вимірів	0,1	5	4	3	0,50	0,40	0,30

Економічні критерії оцінки ресурсоефективності							
Конкурентоспроможність	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
Ціна	0,1	4	4	5	0,40	0,40	0,50
Передбачуваний термін експлуатації	0,1	5	4	4	0,50	0,40	0,40
Доступність	0,06	5	5	5	0,30	0,30	0,30
Термін виходу ринку	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
Разом	1	54	51	48	4,48	4,28	4,05

За результатами розрахунків таблиці 26 можна зробити висновок, що розроблювана система конкурентоспроможна над ринком. Розробка програє системі компанії «ОБЕН» у зручності експлуатації за рахунок відсутності взаємодії зі SCADA-системами на даному етапі розробки, а також компанії «Технології мікроклімату» в енергозбереженні та ціні реалізації за рахунок більшого набору виконавчих пристроїв.

До сильних сторін можна віднести точність вимірювання параметрів за рахунок використання кількох датчиків та якісної обробки результатів, якості роботи системи в порівнянні з фірмою «Технології мікроклімату» за рахунок регулювання трьох параметрів мікроклімату, а також передбачуваний термін експлуатації за рахунок використання не електронних пристроїв обігріву та охолодження.

4.3. SWOT-аналіз

SWOT-аналіз проводиться для комплексної оцінки зовнішнього та внутрішнього середовища проекту. При SWOT-аналізі розглядаються сильні та слабкі сторони, можливості та загрози стосовно способу вирішення поставленого завдання. Підсумкова матриця SWOT-аналізу наведена у таблиці 27.

Таблиця 27 – Матриця SWOT-аналізу

	Сильні сторони (НДП): С1. Точність виміру за рахунок якісної обробки даних; С2. Енергозбереження за рахунок ефективного використання пристроїв; С3. Попереднє моделювання роботи	Слабкі сторони (НДП): Сл1. необхідного обладнання для випробувань; Сл2. Складність проведення ідентифікації об'єкта управління; Сл3. Відсутність практичних знань з облаштування
--	--	--

	системи; С4. Наявність бюджетного фінансування зі сторони університету; С5. Можливість застосування складних алгоритмів керування.	системи; Сл4. споживачів кваліфікованих кадрів; Сл5. Витрати на програмне забезпечення для моделювання.
Можливості: В1. Використання інновацій інфраструктури ТПУ; В2. Використання існуючого програмного забезпечення; В3. Поява попиту новий продукт; В4. Підвищення вартості конкурентних розробок; В5. Використання Українське обладнання.	В1В3В4С1С2. Створення конкурентоспроможного проекту. В2С3С5. Використання доступного сучасного обладнання та програмного забезпечення, здатного підвищити якість роботи установки.	В3Сл1Сл2. практики на підприємстві замовника; В1Сл3. Використання результатів сторонніх дослідників; В1В2Сл5. Використання доступного програмного забезпечення, набутого у ТПУ.
Загрози: У1. Розвинена конкуренція технології виробництва; У2. Оптимізація витрат на підприємстві; У3. Несвоєчасне фінансування наукового дослідження; У4. Обмеження на експорт технології;	У1С1С2. якість роботи системи, в порівнянні з конкуруючими розробниками; У2С2С3. Зниження вартості на впровадження та роботу системи; У3С4. Бюджетне фінансування дозволяє проводити моделювання роботи системи.	У1У4Сл1. Сприяє неконкурентоспроможності без проведення випробування на об'єктах чи їх моделях; У2Сл3Сл5. Приведе до подорожчання системи, якщо не використовувати доступні дослідження та програмне забезпечення; У3Сл5. Неможливість проведення дослідження без використання доступного програмного забезпечення.

За підсумками SWOT-аналізу виявлено можливості та сильні сторони для подальшого розвитку як справжньої системи автоматичного регулювання, так і в цілому підходу до створення подібних систем. Також підкреслюються слабкі сторони проекту, що розробляється, і можливі загрози на шляху дослідження та впровадження системи.

Для протидії загрозам У1 та У4 слід покращити якість роботи системи шляхом точності обробки даних про стан параметрів мікроклімату в приміщенні та знизити енергетичні витрати на обслуговування системи для підвищення конкурентоспроможності на Українському ринку.

У разі необхідності зниження витрат на розробку та впровадження системи

(загроза У2) слід попередньо дослідити роботу системи на моделі та розробити способи зниження витрат на обслуговування системи.

Якщо недостатнє фінансування дослідження (загроза У3), то за рахунок бюджетного фінансування можна провести моделювання роботи системи у доступному програмному середовищі.

Таким чином, використання можливостей та сильних сторін дозволяє протидіяти наведеним загрозам.

4.4. Планування науково-дослідних робіт

Для успішного виконання роботи необхідно грамотно розподілити час, при цьому складемо графік проведення науково-технічного дослідження.

4.4.1. Структура робіт у рамках наукового дослідження

Перш ніж розпочати роботу над проектом, необхідно провести планування етапів роботи, позначивши при цьому зайнятість кожного з учасників, а також навести терміни виконання кожного етапу. Розіб'ємо процес виконання ВКР на етапи та роботи, які необхідно зробити для досягнення результату. При реалізації проекту розглядаються два виконавці: науковий керівник (НР) та інженер (І). Структура робіт та розподіл зайнятості виконавців наведено у таблиці 28.

Таблиця 28 – Перелік етапів, робіт та розподілу виконавців

Основні етапи	№ раб	Зміст робіт	Посада виконавця
Розробка технічного завдання	1	Складання та затвердження технічного завдання	НР – 40% І – 60%
Вибір напрямку дослідження	2	Підбір та вивчення матеріалів на тему	НР – 30% І – 70%
	3	Вивчення існуючих систем	І – 100%
	4	Календарне планування робіт	НР - 20% І – 80%
Розробка систем	5	Опис технологічного процесу	І – 100%
	6	Розробка структурної схеми	І – 100%
	7	Розробка функціональної схеми автоматизації	І – 100%
	8	Вибір коштів реалізації	І – 100%
	9	Розробка схеми зовнішніх проводок	І – 100%

и та проектування	10	Розробка алгоритмів керування	I – 100%
	11	Отримання математичної моделі системи	I – 100%
	12	Моделювання	I – 100%
	13	Аналіз даних	I – 100%
	14	Розробка екранних форм	I – 100%
Оформлення звіту	15	Складання пояснювальної записки	I – 100%

4.4.2. Розробка графіка проведення науково-технічного дослідження

Для визначення трудомісткості робіт будемо використовувати такі показники, як очікувана трудомісткість, тривалість виконання i -ої роботи в календарних днях, коефіцієнт календарності.

Для визначення очікуваного значення трудомісткості t_{omi} використовується така формула:

$$t_{omi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (65)$$

де t_{mini} - мінімальна трудомісткість виконання i -ої роботи, чол.дн.;

t_{maxi} - максимальна трудомісткість виконання i -ої роботи, чол.дн.

З розрахунку очікуваної трудомісткості робіт, визначимо тривалість кожної роботи в робочих днях T_{pi} що враховує паралельність виконання робіт кількома виконавцями:

$$T_{pi} = \frac{t_{omi}}{ч_i}, \quad (66)$$

де $ч_i$ - чисельність виконавців, що виконують одночасно одну і ту ж роботу на даному етапі, чол.

Розраховані значення представлені у таблиці 29.

Таблиця 29 – Тимчасові показники проведення наукового дослідження

№ раб.	Трудомісткість робіт						Викона вці	T_{pi} , Роб. дн.		T_{ki} , кал. дн.	
	t_{min} i ,чол.дн i		t_{max} i ,чол.дн i		t_{om} i ,чол.- дні			I	P	I	P
	I	P	I	P	I	P					
1	3	5	4	7	3,4	5,8	2	1,7	2,9	2	4
2	10	3	13	5	11,2	3,8	2	5,6	1,9	7	2
3	5	-	7	-	5,8	-	1	5,8	-	7	-
4	2	1	4	2	2,8	1,4	2	1,4	0,7	2	1
5	4	-	5	-	4,4	-	1	4,4	-	5	-
6	3	-	5	-	3,8	-	1	3,8	-	5	-
7	6	-	8	-	6,8	-	1	6,8	-	8	-
8	10	-	15	-	12	-	1	12	-	15	-
9	5	-	8	-	6,2	-	1	6,2	-	8	-
10	4	-	6	-	4,8	-	1	4,8	-	6	-
11	11	-	15	-	12,6	-	1	12,6	-	16	-
12	10	-	14	-	11,6	-	1	11,6	-	14	-
13	3	-	5	-	3,8	-	1	3,8	-	5	-
14	3	-	5	-	3,8	-	1	3,8	-	5	-
15	7	-	10	-	8,2	-	1	8,2	-	10	-
Разом								88,7	5,5	115	7

Для зручності побудови діаграми Ганта, перекладемо тривалість кожного з етапів робіт у календарні дні:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (67)$$

де T_{ki} – тривалість виконання i -ї роботи у календарних днях;

T_{pi} – тривалість виконання i -ї роботи у робочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коефіцієнт календарності.

Коефіцієнт календарності визначається за такою формулою:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{пр}}}, \quad (68)$$

де $T_{\text{кал}}$ – кількість календарних днів на рік;

$T_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів на рік;

$T_{\text{пр}}$ – кількість святкових днів на рік. Коефіцієнт календарності (2023 рік):

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 56 - 14} = \frac{365}{295} = 1,237. \quad (69)$$

Усі розраховані значення наведено у таблиці 29 [46].

На підставі таблиці 29 побудували діаграму Ганта (рисунок 45), що представляє собою стрічковий графік, на якому роботи на тему видаються протяжними в часі відрізками.

№ роботи	Виконавці	T_{ki} , кал. дн.	Тривалість виконання робіт											
			Лютий			Березень			Квітень			Травень		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	НР І	4 2	■											
2	НР І	7 2		■										
3	І	7			■									
4	НР І	2 1			■									
5	І	5				■								
6	І	5					■							
7	І	8						■						
8	І	15							■					
9	І	8								■				
10	І	6									■			
11	І	16										■		
12	І	14											■	
13	І	5												■
14	І	5												■
15	І	10												■



Науковий керівник



Інженер

Рисунок 45 – Діаграма Ганта

З діаграми рис. 45 видно, що практична частина всього дослідження займає понад два календарних місяців. Найбільший проміжок часу піде на вибір необхідні засоби для реалізації автоматизованої системи та складання математичної моделі, що пов'язано зі складністю системи, а також на моделювання роботи системи.

4.5. Бюджет науково-технічного дослідження (НТД)

Планування бюджету дозволяє оцінити витрати на проведення дослідження до його фактичного початку та дозволяє судити про економічну ефективність роботи. У цьому розділі підраховуються такі статті видатків: матеріальні витрати, амортизаційні відрахування, заробітна плата виконавців, відрахування до позабюджетних фондів, накладні витрати.

4.5.1. Розрахунок матеріальних витрат НТД

У цьому підрозділі оцінюється вартість усіх матеріальних цінностей, які безпосередньо витрачаються в процесі виконання науково-дослідної роботи.

Витрати на матеріали включають витрати на канцелярське приладдя. Теоретичні дослідження, а також моделювання системи потребують низку програмних продуктів: Microsoft Office, Microsoft Excel, Microsoft Visio, MATLAB та CODESYS. Всі ці програми надаються безкоштовно для студентів ТПУ, або їх можна знайти у вільному доступі до мережі «Інтернет». Програма CODESYS, розроблена компанією "ОВЕН", надається нею безкоштовно на офіційному сайті компанії. Для досліджень використовується персональний комп'ютер. До матеріальних витрат також включаються транспортно-заготівельні витрати (ТЗР) у межах від 5% до 20% від загальної ціни матеріалів.

Розрахунок матеріальних витрат наведено в таблиці 30 [46].

Таблиця 30 - Матеріальні витрати

Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за од., грн.	Витрати на матеріали, З _м , грн.
Зошит, 48 л.	Шт.	1	50	50
Кулькова ручка	Шт.	1	30	30

Друкований папір, 500 аркушів	Упаковка	1	350	350
Разом				430
Разом з урахуванням ТЗР (10%)				473

Загальна вартість матеріальних витрат становила 473 грн.

4.5.2. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Написання роботи займає за планом чотири місяці. Для моделювання та проведення розрахунків використовується персональний комп'ютер початковою вартістю сорок тисяч грн та принтер вартістю вісім тисяч грн. Термін корисного використання для офісної техніки приймемо три роки.

Норма амортизації нарозраховується як [46]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (70)$$

де T - Термін корисного використання, років.

Норма амортизації H_A :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%. \quad (71)$$

Річні амортизаційні відрахування:

$$A_{\text{рік}} = 48000 \cdot 0,33\% = 15840 \text{ грн.} \quad (72)$$

Сума амортизації за чотири місяці дорівнює:

$$A_{4\text{міс}} = \frac{15840}{12} \cdot 4 = 5280 \text{ грн.} \quad (73)$$

4.5.3. Розрахунок заробітної плати та відрахувань до позабюджетних фондів

Основна заробітна плата $Z_{\text{осн}}$ студента та наукового керівника за виконання НТІ, розраховується за такою формулою:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (74)$$

де $Z_{\text{дн}}$ - середня заробітна плата, грн.;

$T_{\text{р}}$ – тривалість робіт, виконуваних науково-технічним працівником, роб. днів.

Середньоденна заробітна плата $Z_{\text{дн}}$ розраховується за формулою:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (75)$$

де $Z_{\text{дн}}$ - місячний посадовий оклад працівника, грн.;

M – кількість місяців роботи без відпустки протягом року:

при відпустці 24 роб. дня $M = 11,2$ місяці, 5-денний тиждень;

при відпустці 48 роб. днів $M = 10,4$ місяця, 6-денний тиждень;

$F_{\text{д}}$ – дійсний річний фонд робочого часу науково-технічного персоналу (робочі дні) таблиця 31.

Таблиця 31 - Баланс робочого часу

Показник робочого часу	Керівник	Інженер
Календарне число днів	365	365
Кількість неробочих днів		
– вихідні дні	52	52
– святкові дні	14	14
Втрати робочого часу		
– відпустка	48	48
– невиходи через хворобу		
Дійсний річний фонд робочого часу	251	251

Місячний посадовий оклад працівника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (76)$$

де $Z_{\text{тс}}$ - заробітна плата за тарифною ставкою, грн.;

$k_{\text{пр}}$ - преміальний коефіцієнт;

$k_{\text{д}}$ - Коефіцієнт доплат;

$k_{\text{р}}$ - районний коефіцієнт, що дорівнює 1,3 (для Харкова) [47]. Розрахунок основної заробітної плати наведено у таблиці 32.

Таблиця 32 - Основна заробітна плата

Виконавці	Оклад, грн.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Зм, грн.	ЗДН, грн.	$T_{р. роб. дн.}$	Зосн, грн.
Керівник	36174	0,3	0,2	1,3	70539,3	2922,74	5,5	16075,07
Інженер	18426	0,3	0,2	1,3	35930,7	1488,76	88,7	132053,2
Разом								148128,27

Розрахунок додатковою заробітної плати ведеться по наступною формулою:

$$З_{дод} = k_{дод} \cdot З_{осн} \cdot k_p, \quad (77)$$

де $k_{дод}$ - Коефіцієнт додаткової заробітної плати (на стадії проектування прийняти рівним 0,1).

Отримані значення додаткової заробітної плати наведено у таблиці 33 [46].

Таблиця 33 - Відрахування до позабюджетних фондів

Виконавці	З _{осн} , грн.	З _{дод} , грн.	З _{внеб} , грн.
Керівник	16075,07	2089,76	4722,86
Інженер	132053,2	17166,92	38797,23
Разом	148128,27	19256,68	43520,09

Величина відрахувань до позабюджетних фондів визначається за такою формулою:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дод}) \cdot k_p, \quad (78)$$

де $k_{внеб}$ – коефіцієнт відрахувань на сплату до позабюджетних фондів (пенсійний фонд, фонд обов'язкового медичного страхування та ін.) [1].

На 2021 рік $k_{внеб}$ для освітніх та наукових установ становить 20% [48].

Розрахована величина відрахувань до позабюджетних фондів представлена у таблиці 33.

Розрахуємо витрати на електроенергію. Енергоспоживання ноутбука складає 0,06435 кВт · годину.

$$P_H = 0,06435 \cdot 8 \cdot 94,2 = 48,5 \text{ кВт}, \quad (79)$$

Вартість 1 кВт складає 4,21 грн. Витрати на енергоспоживання ноутбука становитимуть:

$$Z_{\text{ел}} = 48,5 \cdot 4,21 = 204,26 \text{ грн.} \quad (80)$$

Накладні витрати приймаються у розмірі 16% від величини всіх інших витрат [46].

$$Z_{\text{нак}} = (473 + 5280 + 148128 + 19257 + 204) \cdot 0,16 = 27734 \text{ грн.} \quad (81)$$

4.5.4. Розрахунок загальної собівартості

Розрахована величина витрат науково-дослідної роботи є основою формування бюджету витрат проекту. Визначення бюджету витрат за науково-дослідний проект наведено у таблиці 34.

Таблиця 34 - Сумарні витрати

Найменування	Сума, грн.	Питома вага, %
Матеріальні витрати	473	0,19
Витрати на амортизацію	5280	2,16
Основна заробітна плата	148128,27	60,56
Додаткова заробітна плата	19256,68	7,87
Страхові внески	43520,09	17,80
Витрати електроенергію	204,26	0,08
Накладні витрати	27734,2	11,34
Разом	244595,0	100

Під час підрахунку витрат на розробку проекту виявлено, що основна частина (68,43%) коштів витрачається на заробітну плату виконавців.

Більшу частину витрат фінансував УІПА. Фінансування здійснювалося на оплату заробітної плати та шляхом надання обладнання, а саме персонального комп'ютера, що розміщений у лабораторії з усім необхідним програмним забезпеченням. Безпосередні витрати студента складаються із витрат на канцелярські товари.

4.6. Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої), фінансової, бюджетної, соціальної та економічної ефективності дослідження

Визначення ефективності відбувається з урахуванням розрахунку інтегрального показника ефективності наукового дослідження. Його знаходження пов'язане з визначенням двох середньозважених величин: фінансової ефективності та ресурсоефективності.

Інтегральний фінансовий показник розробки визначається як [46]:

$$I_{\text{фін}}^{\text{ісп.і}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (82)$$

де $I_{\text{ісп.і}}$ - інтегральний фінансовий показник розробки;

Φ_{pi} – вартість і-го варіанта виконання;

Φ_{max} – максимальна вартість виконання науково-дослідного проекту.

Система на основі програмованого логічного контролера «ОВЕН ПЛК 110» виробництва компанії «ОВЕН» загальною вартістю 254 976 грн. [49].

Проектування системи компанією "Технології мікроклімату" загальною вартістю 243000 грн. [50].

$$I_{\text{финр}}^0 = \frac{244595}{254976} = 0,96, \quad (83)$$

$$I_{\text{финр}}^1 = \frac{254976}{254976} = 1, \quad (84)$$

$$I_{\text{финр}}^1 = \frac{243000}{254976} = 0,95. \quad (85)$$

Інтегральний показник ресурсоефективності варіантів виконання об'єкта дослідження можна визначити так [46]:

$$I_{pi} = \sum \alpha_i \cdot b_i, \quad (86)$$

де I_{pi} – інтегральний показник ресурсоефективності для і-го варіанта виконання розробки;

α_i – ваговий коефіцієнт і-го варіанта виконання розробки;

b_i - бальна оцінка і-го варіанта виконання розробки. Порівняння варіантів проекту представлено таблиці 35.

Таблиця 35 - Порівняльна оцінка ресурсоефективності

Критерії оцінки	Вага критерію	Бали			Ресурсоефективність		
		БФ	Б _{к1}	Б _{к2}	КФ	К _{к1}	К _{к2}
Зручність в експлуатації	0,095	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Перешкодостійкість	0,095	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Енергозбереження	0,127	4	4	5	0,32	0,32	0,40
Надійність	0,159	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Безпека	0,175	4	4	4	0,44	0,44	0,44
Якість роботи системи	0,190	5	5	3	0,60	0,60	0,36
Точність вимірів	0,159	5	4	3	0,50	0,40	0,30
Разом	1	31	31	23	2,84	2,74	2,48

$$Ip0 = 0,38 + 0,38 + 0,508 + 0,795 + 0,7 + 0,95 + 0,795 = 4,508; \quad (87)$$

$$Ip1 = 0,38 + 0,38 + 0,508 + 0,795 + 0,7 + 0,95 + 0,636 = 4,349; \quad (88)$$

$$Ip2 = 0,38 + 0,38 + 0,635 + 0,795 + 0,7 + 0,57 + 0,477 = 3,937. \quad (89)$$

Інтегральний показник ефективності варіантів виконання розробки визначається на підставі інтегрального показника ресурсоефективності та інтегрального фінансового показника за формулою:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финr}^t}. \quad (90)$$

Для системи, що розробляється:

$$I_{исп0} = \frac{4,508}{0,96} = 4,70. \quad (91)$$

Для аналізованих аналогів:

$$I_{исп1} = \frac{4,349}{1} = 4,35, \quad (92)$$

$$I_{исп2} = \frac{3,937}{0,95} = 4,14. \quad (93)$$

Порівняння інтегрального показника ефективності варіантів виконання розробки дозволить визначити порівняльну ефективність проекту та вибрати найбільш доцільний варіант із запропонованих. Порівняльна ефективність проекту (E_{cp}):

$$E_{cp} = \frac{I_{исп0}}{I_{испi}}. \quad (94)$$

Порівняння ефективності подано у таблиці 36.

Таблиця 36 – Порівняльна ефективність розробки

№ п/п	Показники	Розробка	Вик. 1	Вик. 2
1	Інтегральний фінансовий показник розробки $I_{\text{ш}}^{\text{фін}}$	0,96	1	0,95
2	Інтегральний показник ресурсоефективності I_{pi}	4,508	4,349	3,937
3	Інтегральний показник ефективності $I_{\text{іспі}}$	4,70	4,35	4,14
4	Порівняльна ефективність варіантів виконання $E_{\text{ср}}$	1	1,08	1,13

Порівняння значень інтегральних показників ефективності показало, що система автоматичного регулювання мікроклімату приміщення, що розробляється, перевершує інші аналоги за інтегральним показником ресурсоефективності за рахунок підвищення точності вимірювання та якісної роботи системи. Також система перевищуватиме аналоги за вартістю розробки. Таким чином, порівняльна ефективність розробки вище за аналогічні представлені розробки.

Висновки по розділу «Ресурсоефективність та ресурсосбереження»

У цьому розділі оцінено економічні аспекти досліджуваного підходу до побудови системи автоматичного регулювання параметрів мікроклімату.

1. Виявлено потенційних споживачів результатів дослідження. Розробка може бути застосована на дрібних та середніх промислових підприємствах з виробництва товарів та складування, об'єктах ЖКГ, а також офісних приміщеннях (див. підрозділ 4.1).

2. Проведено аналіз конкурентних технічних рішень. Виявлено два конкуренти: компанія «ОВЕН» та Львівський завод «Технології мікроклімату». Система, що розробляється, на поточному етапі поступається конкуренту з енергозбереження (див. підрозділ 4.2), проте виграє за точністю вимірювання та якісною роботою системи за рахунок регулювання трьох параметрів мікроклімату, на відміну аналогічної системи, розробленої двох параметрів.

У ході SWOT-аналізу основними загрозами позначено: розвинена конкуренція технології виробництва, необхідність зниження витрат на виробництві, невчасне фінансування наукового дослідження та обмеження на експорт технології. Можливі шляхи зниження впливу виявлених загроз представлені у підрозділі 4.3.

Підрахунок витрат на розробку дозволяє зробити висновок, що основною статтею витрат у науково-дослідній роботі є заробітна плата виконавців: основна - 148128,27 грн. (60,56%), додаткова - 19256,68 грн. (7,87%). З другого краю місці страхові внески – 43520,09 грн. (17,80%). Потім йдуть накладні витрати - 27734,20 грн. (11,34%). Найменше коштів йде на оплату електроенергії - 204,26 (0,08%), матеріальні витрати - 473,00 грн. (0,19%) та на амортизацію - 5280,00 грн. (2,16%). Загальний бюджет розробки становив 244595,00 грн. Запланована тривалість роботи становить 115 днів.

У підрозділі 4.6 оцінено економічну ефективність розробки. Система, що розробляється, перевершує інші аналоги за інтегральним показником ресурсоефективності за рахунок підвищення точності вимірювання та якісної роботи системи. Також система перевищуватиме аналоги за вартістю розробки за рахунок використання доступного програмного забезпечення та частини обладнання Українського виробництва. Таким чином, порівняльна ефективність розробки вище за аналогічні представлені розробки.

Висновки

В результаті виконання роботи була удосконалена система управління параметрами мікроклімату у виробничому приміщенні. Розроблене технічне завдання, структурна схема та функціональні схеми автоматизації, що дозволяють визначити склад необхідного обладнання. Для автоматизації системи підтримки мікроклімату були обрані необхідні датчики з цифровими сигналами за інтерфейсом RS-485 і аналоговими вихідними сигналами (4 – 20) мА. Як промисловий логічний контролер був обраний ОВЕН ПЛК 160. Виконавчі пристрої: радіатор RifarAlp500x10, припливно-витяжна установка Electrolux EPVS-200, теплообмінник WHC 150*150-2, зволожувач повітря Par-Tuman ГТ-1,6, осушувач РТ-60, клапан запірно-регулюючий КЗР 25ч945п та частотний перетворювач ESQ-210-2S-0.4К.

Для управління технологічним процесом було розроблено алгоритми пуску/зупинки технологічного устаткування. Розроблено математичну модель системи та розраховано параметри налаштування регулятора за методом Циглера-Нікольса та автоматичного налаштування в пакеті Matlab з подальшим підстроюванням параметрів вручну. Провели аналіз системи за зовнішнього впливу температури. Система обробляє обурення та зберігає значення температури у приміщенні не більше 5 % від уставки. Таким чином, система може застосовуватися для регулювання та стабілізації параметрів мікроклімату у приміщенні. Використання трьох вузлів вимірювання в різних областях приміщення надає найбільш повну картину параметрів мікроклімату в приміщенні і тим самим підвищує якість вимірювання. За рахунок реєстрації та управління витратою сировини теплоносія відбувається його ефективне використання.

Література

1.	Кузнецов Б.І. Оптимальні системи керування електроприводами: навч. посібник / Б. І. Кузнецов, І. М. Богаєнко, М. О Рюмшин. – К. : Вища шк., 1996. – 210 с.
2.	Александров Є.Є. Багатоканальні системи оптимального управління/Є. е. Александров [та ін.] - До. : Техніка, 1995. - 312 с.
3.	Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник/ Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко та інші; за ред. Ю. Л. Жулая. — К.: Вища освіта, 2001. — 228 с.
4.	Александров Є. Є. Теорія автоматичного управління / Є. Є Александров., О. П Голуб., Б. І Кузнецов., В. П. Соляник. – Х .: НТУ “ХПІ” т.№3, 2002. – 195 с.
5.	Рева О .О. Системи керування електроприводами. Оптимальне керування. Навчальний посібник / О. О. Рева, О. П. Голуб, Б. І. Кузнецов, В. П. Соляник. – К.: УМК ВО, 1999. – 168 с.
6.	Електропривод: Підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко та інш.; за ред. Ю. М. Лавріненка. — К.: Ліра-К, 2009. — 504 с.
7.	Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посіб. для студ. електромех. спец. вищ. навч. закл. України / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик; Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л., 2002. — 277 с. — Бібліогр.: с. 227.
8.	Гнітько С. М., Бучинський М. Я., Попов С. В., Чернявський Ю. А. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2020. 258 с.
9.	Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник / А.А. Колб, А.А. Колб. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с
10.	Сімейство FR. Перетворювачі частоти. Інтелектуальна техніка приводів / Mitsubishi Electric, 2011. - 88 с
11.	Частотно-регульований асинхронний електропривод / Schneider Electric, Одеса, 2007. - 39 с
12.	Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г. Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с
13.	Карашук С.В., Гаюр А.В. Системи захисту напівпровідникових пристроїв від негативних наслідків комутації // Збірник наукових

	праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 23.– К.: ДЕТУТ, 2013.– С. 87–91.
14.	Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Ревчук М.О., Карашук С.В., Малюк С.В. Вплив джерела живлення моделі тягового електропривода на якість його вихідних характеристик // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 24.– К.: ДЕТУТ, 2014.– С.140–144.
15.	Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Гаюр А.В., Карашук С.В. Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи рекуперативного гальмування електропоїздів // Збірник наукових праць Державного економікотехнологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 26-27.– К.: ДЕТУТ, 2015.– С.83–91.
16.	José A. Lozano, Jesús Félez, Juan de Dios Sanz and José M. Mera (2012). Railway Traction, Reliability and Safety in Railway, Dr. Xavier Perpinya (Ed.), ISBN:978-953-51-0451-3, InTech, Available from: URL: intechopen.com/books/reliability-and-safety-in-railway/railway-traction . – Date of Access: 26 October 2016.
17.	Безрудченко В.М. Варченко В.К. Чумак В.В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
18.	Le moteur asynchrone en traction électrique par. Marcel desponds, article, Bulletin technique de la Suisse romande, 102(1976) № 12. Access Mode: URL dx.doi.org/10.5169/seals-72934 . – Date of Access: 16 February 2016.
19.	Мнацаканов, В.А. Форсажний тяговий привід [Virtual Resource]/В.А. Мнацаканів // Access Mode: URL: tomakltd.com/files/ftp.pdf . – Date of Access: 26 жовтня 2016.
20.	Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч.посібник/ О.Г. Плахтина, С.С. Мазепа, А.С. Куцик.-Львів; Видавництво національного університету „Львівська політехніка”, 2002.-228с
21.	Казачковський М.М., Комплектні електроприводи. Навч. посібник. Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 266 с.
22.	Електропривода виробничих машин і механізмів: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, Д.Г. Войтюк, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш. – К.: 2020. – 444 с.

23.	Жулай Є.Л., Зайцев Б.П., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Войтюк Д.Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній. – К.: Вища Освіта, 2001. - 286с. Інтернет посилання http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/4396
24.	W. Leonhard, Control of electrical drives, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo:Springer Verlag, 1996.-415p.
25.	Jonnsen R.: A new control scheme for AC induction motor, Power conversiob Conf. Tokyo, 1989.
26.	Kiel E., Schumacher W. A high-performance digital control of AC drives by one-chip Servo controller, 1995- p.3001-3005.
27.	Правила улаштування електроустановок. – Х.: Форт, 2017. – 760с.
28.	Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві. /За ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 416с.
29.	Довідник сільського електрика /За ред. В.С. Олійника. – К.: Урожай, 1989. – 264с.
30.	Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. – 414 с.

ВІДГУК

**наукового керівника кваліфікаційної роботи
рівня вищої освіти “магістр”**

виконаного на тему: **Розробка автоматизованої системи керування
мікрокліматом виробничих приміщень**

студентом (кою) **ДЕМ'ЯНЕНКО Олександр Юрійович**

(прізвище, ім'я)

Студент Дем'яненко Олександр Юрійович виконав магістерську роботу на тему “Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом виробничих приміщень” повністю відповідно до завдання. Робота присвячена актуальному питанню дослідження та удосконалення систем керування мікрокліматом виробничих приміщень та дослідженню питання їх ефективності в різних режимах роботи. Студент Дем'яненко О.Ю. працював над роботою систематично, докладно вивчав рекомендуєму літературу, і правильно застосовував отримані знання. Графічна частина роботи виконана відповідно до норм і вимогами. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота має практичну значимість та наукову цінність

У цілому робота виконана грамотно, акуратно, основні цілі роботи досягнуті, а поставлені завдання виконані. Робота заслуговує оцінки “відмінно”.

Керівник кваліфікаційної роботи

_К.Т.Н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

_Мезеря А.Ю.

(ім'я, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу
“__Магістр__” рівня вищої освіти

виконаний(у) на тему: **Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом виробничих приміщень**

студентом (кою) **ДЕМ'ЯНЕНКО Олександр Юрійович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Студент Дем'яненко О.Ю. виконав магістерську роботу на тему “Розробка автоматизованої системи керування мікрокліматом виробничих приміщень” повністю відповідно до завдання.

В роботі проведено досить глибоке дослідження характеристик систем керування мікрокліматом виробничих приміщень. Визначені основні фактори, які впливають на поліпшення основних характеристик (надійність та енергоефективність) системи керування мікрокліматом виробничих приміщень. Визначені області застосування систем керування, а також критерії їх ефективного використання.

Робота присвячена актуальному питанню підвищення ефективності систем керування. Це питання має високу практичну значимість, тому що енергозбереження є на сьогодні основним напрямком розвитку енергетики України. Вирішення цього питання дозволяє не тільки заощаджувати кошти на додатковому виробництві електроенергії, но і поліпшити питання екології.

Робота має практичну значимість та наукову цінність.

Графічна частина роботи виконана відповідно до норм та вимог. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота виконана на актуальну тему і відбиває високу інженерну підготовку автора.

Па роботі є наступні зауваження:

Бажано визначити критерії до мікроклімату виробничих приміщень, які можуть бути у майбутньому

У цілому робота виконана акуратно, грамотно та заслуговує оцінки «відмінно».

Рецензент

__К.Т.Н., доцент__

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

__Буданов П.Ф. __

(ім'я, прізвище)